

УДК 622. 271

**Д.Г. Букейханов, У.А. Джарлкаганов**

**ПРОБЛЕМЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ  
ГОРНЫХ РАБОТ РУДНЫХ КАРЬЕРОВ**

*Изложена система автоматизированного составления перспективных и текущих планов развития горных работ при открытой разработке железорудных и полиметаллических месторождений. В комплексной модели осуществляется первоначальное сужение области поиска оптимального плана развития горных работ методами частично целочисленного программирования, с учетом важнейших горно-технологических условий.*

*Ключевые слова: рудные карьеры, контуры выемки, оптимизационные расчеты.*

---

**В**опросы интенсификации технологий проектирования и планирования горных работ карьеров занимают значительное место при решении задач календарного планирования проектов карьера. Календарные планы проектов, которые включают развитие горных работ и горнотранспортных систем во времени и пространстве карьерного поля, наиболее детально разрабатываются на очередные 5 лет перспективного планирования, эффективность которого зависит от качества составляющих его годовых планов горных работ.

Задача оптимизации годового плана развития горных работ заключается в определении объемов добычи руды и вскрышных работ на разных участках карьера, обеспечивающих выполнение заданий по объему и качеству концентрата и требований ведения горных работ при минимальных затратах. Поэтому критерием оптимальности при годовом планировании принимается минимум затрат на добычу и переработку руды, зависящих от развития

горных работ в карьере и транспортной связи с промежуточными и конечными пунктами приема горной массы.

При моделировании карьерное поле разделяется на секторы, ограниченные вертикальными плоскостями, по различным направлениям развития горных работ, на всю глубину разработки месторождения. В пределах каждого сектора на каждом уступе выделяется технологический блок. Границы блока в секторе устанавливаются по положению фронта уступа на начало планируемого периода и возможному положению горных работ на конец планируемого периода. Этим планируемым периодом, как было отмечено, становится важный этап развития горных работ по карьере — перспективный план на 5—8 лет. Поэтому годовые контуры горных работ могут формироваться только в пределах предельного контура перспективного плана развития горных работ. На последних этапах реализации перспективного плана может потребоваться внесение изменений

в плановые контуры горных работ, но это уже будет рассматриваться на верхних уровнях системы проектирования и календарного планирования [1].

Технологические блоки разделяются на контуры ведения горных работ, иначе — контуры выемки (нарезки). Необходимо выделить на множестве альтернативных вариантов контуров выемки по секторам и уступам такой их набор, которые бы обеспечили получение продукции заданного объема и качества, принятого предприятием для реализации в каждом плановом периоде.

При моделировании номера контуров увеличиваются в направлении отработки блока. Здесь  $i$  — номер горизонта (уступа);  $j$  — номер сектора, в котором находится блок;  $k$  — номер контура горных работ (иначе, контура выемки — нарезки) в данном блоке.

Схема деления карьерного поля на секторы и блоки на карьере полиметаллических руд, с перевозкой горной массы на автомобильном транспорте, представлены на рис. 1.

Весь блок сектора здесь состоит из суммы малых блоков (контуров выемки - нарезок) одинаковой ширины. Отличие предлагаемого в данной работе подхода заключается в том, что каждый новый вариант годового контура выемки в секторе, начиная с исходного положения уступа, включает в себя весь предыдущий ряд нарезок и еще объем новой прирезки в массиве вглубь блока. Последний вариант контура выемки на конец года представляет собой весь технологический блок в целом в данном секторе в границах перспективного планирования горных работ. В результате, на каждом шаге просмотра вариантов контуров выемки на уступе (горизонте) карье-

ра на конец года по сектору всегда может рассматриваться только один контур выемки или ни одного [2, 3].

На плане вытянутое карьерное поле разделено на две части центральной ломанной линией (ЦЛ), которая устанавливается по выбранному проекту или перспективным планом направлению углубки горных работ на данном этапе. От этой линии начинается отсчет номеров выемочных блоков — нарезок в обе стороны, до конечного контура карьера.

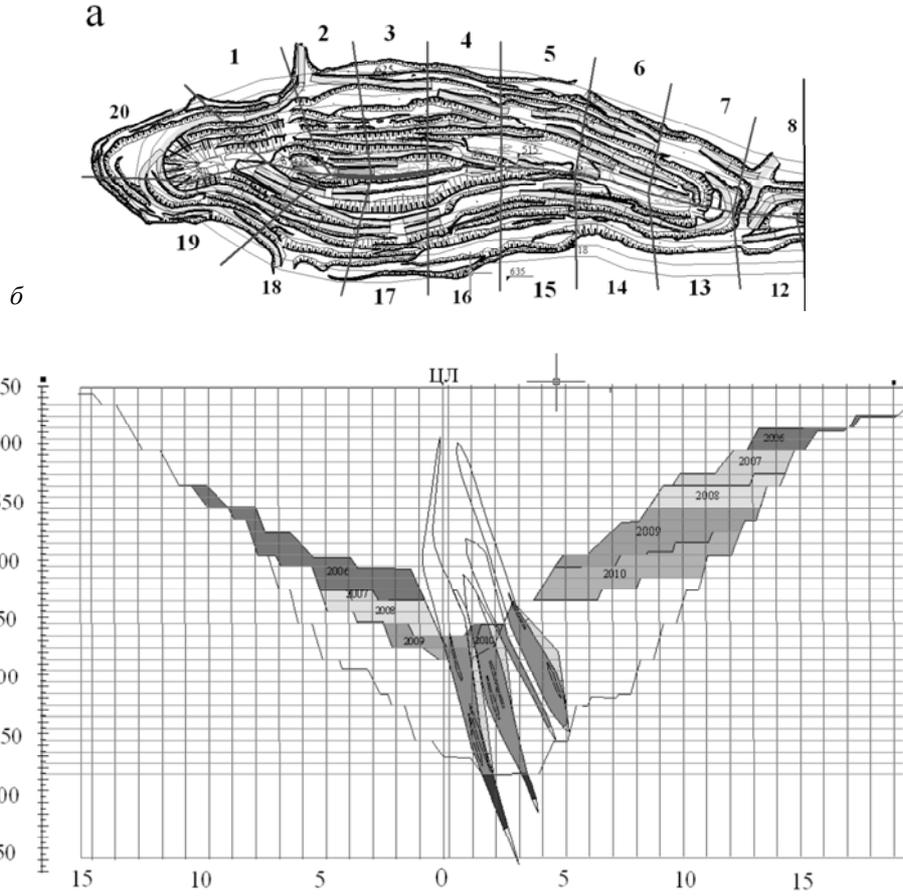
Тогда номер нарезки, на которой лежит внешняя граница  $k$ -го варианта контура выемки в  $j$ -м секторе  $i$ -го горизонта (точнее будет записать  $k = k_{ij}$ ), отсчитывается от ЦЛ как  $k_{ij}^u = k_{ij}^u$

+  $k$  или точнее как  $k_{ij}^u = k_{ij}^u + k_{ij}$ . Здесь

$k_{ij}^u$  — номер нарезки, отсчитываемый от ЦЛ, по которой в  $j$ -м секторе  $i$ -го горизонта карьера проходит фронт уступа в исходном положении в начале годового планирования. Таким образом, с помощью ЦЛ вариант плана выемки по сектору отмечается по номеру нарезки, в которой расположена внешняя граница данного варианта выемки. Внутренней границей варианта выемки является уступ в исходном положении к началу планирования (рис. 2). На рисунке сплошной жирной линией выделено положение уступов к началу планирования, жирной точечной линией — варианты подвигания смежных уступов; пунктирными линиями — графеты нарезок по технологическому блоку.

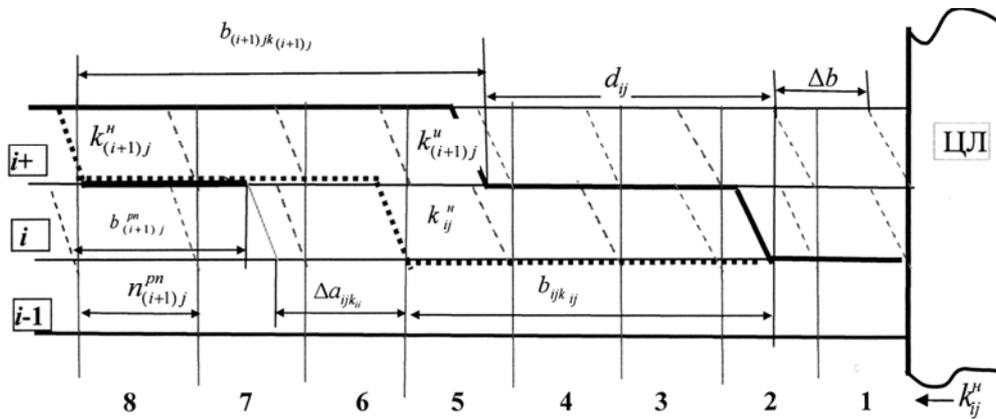
Для определения оптимальной области расположения контуров выемки на конец года используется метод частично целочисленного линейного программирования. Целевая функция модели годового пла-

нирования может быть представлена в виде:



**Рис. 1. План развития горных работ на карьере Акжал в 2007—11 г.г.**

а — план карьера с секторами и нарезками; б — поперечный разрез карьера по секторам 3, 17



**Рис. 2. Положение уступов и контуров выемки на плане и разрезе карьера**

$$\sum_{i=1}^{N_r} \sum_{j=1}^s \sum_{k_{ij}^n = k_{ij}^x} S_{ijk_{ij}^n} x_{ijk_{ij}^n} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$S_{ijk_{ij}^n} = (S_{ijk_{ij}^n}^p + S^n + S^{pa} \cdot l_{ijk_{ij}^n}^{pa}) \cdot A_{ijk_{ij}^n}^p \cdot \Gamma_p + (S_{ijk_{ij}^n}^e + S^{ea} \cdot l_{ijk_{ij}^n}^{ea} \cdot \Gamma_B) \cdot (Q_{ijk_{ij}^n} - A_{ijk_{ij}^n}^p), \quad (2)$$

где  $N_r$  — число рабочих горизонтов в карьере в планируемом году;  $s$  — число секторов на плане карьера;  $S_{ijk_{ij}^n}$  — годовые затраты на добычу и переработку руды и удаление вскрышных пород из контура выемки в  $ij$ -м блоке по  $k_{ij}$ -му варианту, внешняя граница которого проходит по  $k_{ij}^n$ -й нарезке, а внутренняя — по  $k_{ij}^u$ -й нарезке, тенге;  $S_{ijk_{ij}^n}^p$  — переменная часть себестоимости добычи 1 т руды из контура выемки, без учета затрат на транспортирование, тенге/т;  $S^n$  — переменная часть себестоимости передела руды в концентрат, тенге/т;  $S^{pa}$  — себестоимость перевозки автотранспортом 1 т руды на 1 км, тенге/т·км;  $l_{ijk_{ij}^n}^{pa}$  — расстояние перевозки руды до обогатительной фабрики (ОФ) из  $k_{ij}$ -го контура выемки в  $ij$ -м блоке, внешняя граница которого проходит по  $k_{ij}^n$ -й нарезке, а внутренняя — по  $k_{ij}^u$ -й нарезке, км;  $S_{ijk_{ij}^n}^e$  — переменная часть себестоимости удаления 1 м<sup>3</sup> вскрышных пород из этого контура, без учета затрат на транспортирование, тенге/м<sup>3</sup>;  $S^{ea}$  — себестоимость перевозки автосамосвалами 1 т вскрыши на 1 км, тенге/т·км;  $l_{ijk_{ij}^n}^{ea}$  — расстояние перевозки вскрыши из контура выемки в  $ij$ -м блоке до

внешних отвалов, км;  $A_{ijk_{ij}^n}^p$  —

руды в  $ij$ -м блоке в данном контуре выемки, м<sup>3</sup>;  $\Gamma_p$  — плотность т/м<sup>3</sup>;  $\Gamma_B$  — плотность породы, т/м<sup>3</sup>;  $Q_{ijk_{ij}^n}$  — объем горной массы в этом же контуре выемки, м<sup>3</sup>;

$A_{ijk_{ij}^n}^e$  — объем вскрыши в этом же контуре выемки, м<sup>3</sup> ( $A_{ijk_{ij}^n}^e =$

$Q_{ijk_{ij}^n} - A_{ijk_{ij}^n}^p$ );  $u_{ij}^x$  — номер нарезки, по которой по перспективному (пятилетнему) плану утверждена граница подвигания горных работ;  $x_{ijk_{ij}^n}$  — управляющая булева переменная, определяющая включение в данный план горных работ варианта контура выемки в  $ij$ -м блоке, внешние границы которого лежат в  $k_{ij}^n$ -й нарезке, а внутренние — ограничены исходным положением фронта уступа (при этом  $x_{ijk} = 1$ , если контур выемки включен в настоящий план и  $x_{ijk} = 0$ , если нет).

Если условия выемки и транспортирования горной массы из технологического блока можно считать стабильными, то по блоку можно принять:  $S_{ijk_{ij}^n}^p = S_{ij}^p$ ,  $l_{ijk_{ij}^n}^{pa} = l_{ij}^{pa}$ ,

$S_{ijk_{ij}^n}^e = S_{ij}^e$ ,  $l_{ijk_{ij}^n}^{ea} = l_{ij}^{ea}$  и по карьере

выражение (2) можно записать как

$$S_{ijk_{ij}^n} = (S_{ij}^p + S^n + S^{pa} \cdot l_{ij}^{pa}) \cdot A_{ijk_{ij}^n}^p \cdot \Gamma_p + (S_{ij}^e + S^{ea} \cdot l_{ij}^{ea} \cdot \Gamma_B) \cdot (Q_{ijk_{ij}^n} - A_{ijk_{ij}^n}^p). \quad (3)$$

При  $k_{ij}^u = k_{ij}^n$  (номер внешней нарезки рассматриваемого контура выемки  $k_{ij}^u$  совпадает с нарезкой ис-

ходного положения уступа  $k_{ij}^u$ ) в объем горной массы варианта выемки входит только часть  $k_{ij}^u$ -й нарезки со стороны массива горных пород. Также при  $k_{ij}^u = u_{ij}^k$  в объем горной массы варианта входит только часть  $u_{ij}^k$ -й нарезки со стороны горных работ.

В модели имеются ограничения, исходящие из технологических требований и правил безопасного ведения горных работ, необходимости поддержания заданий по годам перспективного планирования добычи и переработки руд и удаления вскрыши из карьера.

1. Требование не подрабатывать плановым контуром выемки на уступе минимальную площадку/берму у вышележащего уступа представляется в виде

$$b_{(i+1)j}^{pn} \leq d_{ij} + \sum_{k_{ij}=1}^{u_{(i+1)j}^k} b_{(i+1)jk_{ij}} \cdot x_{(i+1)jk_{ij}} - \sum_{k_{ij}=1}^{u_{ij}^k} b_{ijk_{ij}} \cdot x_{ijk_{ij}}, \quad i = \overline{1, N_g - 1}; \quad j = \overline{1, s}, \quad (4)$$

где  $b_{ijk}$  — расстояние между внешней границей рассматриваемого  $k_{ij}$ -го варианта выемки со стороны массива и  $i$ -м уступом в исходном положении в  $j$ -м секторе карьера, м;  $b_{(i+1)j}^{pn}$  — минимальная ширина площадки/бермы для вышележащего  $i + 1$ -го уступа, м;  $b_{(i+1)jk_{ij}}$  — расстояние между внешней границей рассматриваемого  $k_{(i+1)j}$ -го контура выемки на вышележащем  $i + 1$ -м уступе и исходным положением этого же уступа, м;  $d_{ij}$  — расстояние на плане между  $i$ -м и  $i + 1$ -м уступами в их исходном положении на начало

планирования, м;  $x_{(i+1)jk_{ij}}$  — булева переменная, определяющая включение  $k_{(i+1)j}$ -го варианта контура выемки на вышележащем  $i + 1$ -м уступе в годовой план горных работ (см. рис. 2).

Но, как уже отмечалось, в данной модели принята схема с разбиением карьерного поля на всю глубину на одни и те же секторы и нарезки. Контур выемки выделяется по номерам нарезок, начиная от ядра — ЦЛ. Тогда границы подвигания смежных уступов относительно друг друга можно устанавливать без определения расстояний, только сравнением номеров рассматриваемых нарезок  $k_{ij}^u$  и  $k_{(i+1)j}^u$  смежных уступов. При этом ограничение (4) может быть представлено так (5)

$$n_{(i+1)j}^{pn} \leq \sum_{k_{(i+1)j}^u = k_{(i+1)j}^u}^{u_{(i+1)j}^k} k_{(i+1)j}^u \cdot x_{(i+1)jk_{(i+1)j}^u} - \sum_{k_{ij}^u = k_{ij}^u}^{u_{ij}^k} k_{ij}^u \cdot x_{ijk_{ij}^u}, \quad i = \overline{1, N_g - 1}; \quad j = \overline{1, s}, \quad (5)$$

где  $n_{(i+1)j}^{pn}$  — количество нарезок, покрывающих площадку вышележащего  $i + 1$ -го уступа;  $k_{ij}^u$ ,  $k_{(i+1)j}^u$  — номера нарезок от ЦЛ, указывающие варианты границ подвигания горных работ на смежных уступах к концу планируемого года.

Здесь количество нарезок  $n_{(i+1)j}^{pn} = [b_{(i+1)j}^{pn} / Db]$ , где  $[b_{(i+1)j}^{pn} / Db]$  — целая часть от деления ширины площадки  $b_{(i+1)j}^{pn}$  на шаг нарезки  $Db$  (м). Например, при  $b_{(i+1)j}^{pn} = 30$  м и  $Db = 20$  м

количество составляющих площадку нарезок  $n_{(i+1)j}^{pn} = [30/20] = 1$ .

2. Требования сохранять необходимую плавность линии фронта уступа на горизонте, в зависимости от вида транспорта и условий перевозок горной массы по фронту работ, в данном случае могут быть представлены в виде

$$\sum_{k_{ij}^u = k_{ij}^n}^{u_{ij}^k} k_{ij}^n x_{ijk_{ij}^n} - \sum_{k_{i(j+1)}^u = k_{i(j+1)}^n}^{u_{i(j+1)}^k} k_{i(j+1)}^n x_{i(j+1)k_{i(j+1)}^n} - \Delta b_{ij}^{on} \leq |k_{ij}^u - k_{i(j+1)}^u|, \\ i = \overline{1, N_g}; j = \overline{1, s-1}, \quad (6)$$

$$\sum_{k_{ij}^u = k_{ij}^n}^{u_{ij}^k} k_{ij}^n x_{ijk_{ij}^n} - \sum_{k_{i(j-1)}^u = k_{i(j-1)}^n}^{u_{i(j-1)}^k} k_{i(j-1)}^n x_{i(j-1)k_{i(j-1)}^n} - \Delta b_{ij}^{on} \leq |k_{ij}^u - k_{i(j-1)}^u|, \\ i = \overline{1, N_g}; j = \overline{2, s}, \quad (7)$$

где  $\Delta b_{ij}^{on}$  — допустимое опережение уступов в смежных секторах горизонта.

В неравенствах (6), (7) ситуации  $|k_{ij}^u - k_{i(j-1)}^u| \neq 0$  и  $|k_{ij}^u - k_{i(j+1)}^u| \neq 0$  указывают на имеющееся опережение (или отставание) уступов соседних секторов в исходном положении. Это возможно, если нарезки пересекают уступы под некоторым углом. Если при этом  $b_{ij}^{on} = 0$ , то это будет означать, что фронт уступа передвигается параллельно его первоначальному положению. Если  $b_{ij}^{on} > 0$ , то это будет означать разрешение на большее опережение соседнего участка уступа относительно искомого уступа, хотя из-за угла наклона линий нарезок к фрон-

ту уступа изначально опережение как бы уже было.

3. Если по календарному плану проекта карьера на  $ij$ -м блоке в предстоящем году должны создаваться новые (или сохраняться существующие) технологические сооружения: временно нерабочий борт, автомобильный съезд или др., то вводится условие ограниченного подвигания горных работ на этом участке:

$$\sum_{k_{ij}=1}^{u_{ij}} b_{ijk_{ij}} x_{ijk_{ij}} \leq B_{ij}^{n\delta} - b_{ij}^{mp}; \\ i = \overline{1, N_g}; j = \overline{1, s}, \quad (8)$$

где  $B_{ij}^{n\delta}$  — расстояние от исходного уступа до временно нерабочего борта — целика карьера или автомобильного съезда на участке  $ij$ -го блока (м);  $b_{ij}^{mp}$  — ширина транспортной или предохранительной бермы у нерабочего борта на уровне  $ij$ -го блока (м);

При установлении границы варианта выемки по нарезкам от ЦЛ

$$\sum_{k_{ij}^u = k_{ij}^n}^{u_{ij}^k} k_{ij}^n x_{ijk_{ij}^n} \leq K_{ij}^{\delta n} - 1; \\ i = \overline{1, N_g}; j = \overline{1, s}, \quad (9)$$

где  $K_{ij}^{\delta n}$  — номер нарезки, где расположена внутренняя сторона транспортной (предохранительной) бермы перед временно нерабочим бортом карьера.

Здесь и далее внешней стороной горной выработки или сооружения считается его контур со стороны конечного контура, а внутренней стороной — контур со

стороны выработанного пространства карьера.

4. Если автомобильный съезд или другое сооружение на участке  $ij$ -го блока карьера должны строиться в планируемом году, то поиск конечных контуров выемки должен начинаться не от исходного уступа, а от внешней стороны указанного съезда или другого сооружения:

$$\sum_{k_{ij}^u = k_{ij}^n}^{u_{ij}^k} k_{ij}^n \cdot x_{ijk_{ij}^n} \geq K_{ij}^{ch} + 1; \quad (10)$$

$$i = \overline{1, N_g}; \quad j = \overline{1, S},$$

где  $K_{ij}^{ch}$  — номер нарезки, по которой проходит внешняя сторона данного съезда.

5. Требование выполнить план карьера за год по руде определяется условием

$$(1 - f_{nl}^m) \cdot A_{nl}^p \cdot (100 - p) / (100 - p) \cdot \gamma_p \leq \leq (1 + f_{nl}^o) \cdot \sum_{i=1}^{N_z} \sum_{j=1}^s \sum_{k_{ij}^n = k_{ij}^u}^{u_{ij}^k} A_{ijk_{ij}^n}^p \cdot x_{ijk_{ij}^n} \leq \leq (1 + f_{nl}^o) \cdot A_{nl}^p (100 - p) / (100 - p) \cdot \gamma_p, \quad (11)$$

где  $A_{nl}^p$  — плановая производительность карьера по руде на год, т;  $f_{nl}^m$ ,  $f_{nl}^o$  — допустимые отклонения от годового плана по руде в меньшую и большую сторону (в дол. един.);  $p$  — коэффициент потерь руды при разработке блоков, %;  $r$  — коэффициент разубоживания руды при разработке блоков, % (через эти коэффициенты плановая товарная руда  $A_{nl}^p$  переводится в состояние геологических запасов для сравнения с  $A_{ijk}^p$ ).

6. Содержания двух компонентов в товарной руде из карьера также должны находиться в заданных пределах

$$\alpha_{ij2}^n 100 / (100 - p) \leq \frac{\sum_{i=1}^{N_z} \sum_{j=1}^s \sum_{k_{ij}^n = k_{ij}^u}^{u_{ij}^k} A_{ijk_{ij}^n}^p \alpha_{ijk_{ij}^n}^{(1)} x_{ijk_{ij}^n}}{\sum_{i=1}^{N_z} \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^{u_{ij}^k} A_{ijk}^p x_{ijk}^n} \leq \alpha_{ij5}^n 100 / (100 - p), \quad (12)$$

где  $\alpha_{ijk_{ij}^n}^{(1)}$  — содержание 1-го компонента в руде в варианте контура выемки с внешней границей в  $k_{ij}^n$ -й нарезке  $ij$ -го блока, где внутренняя граница (исходный уступ) проходит в  $k_{ij}^u$ -й нарезке, %;  $\alpha_{ij}^k$ ,  $\alpha_{(i+1)j}^n$  — нижний и верхний пределы отклонений содержания 1-го компонента руды в годовой добыче от заданного содержания данного компонента в рудопотоке из карьера, %.

Так же определяются условия соблюдения пределов содержания для второго компонента в годовом объеме добычи руды из этого карьера.

7. Требование соблюдать заданные пределы отклонений коэффициентов вскрыши в карьере в предстоящий год задается:

$$k_T^{\min} \leq \frac{\sum_{i=1}^{N_z} \sum_{j=1}^s \sum_{k_{ij}^n = k_{ij}^u}^{u_{ij}^k} (Q_{ijk_{ij}^n} - A_{ijk_{ij}^n}^p) x_{ijk_{ij}^n}}{\sum_{i=1}^{N_z} \sum_{j=1}^s \sum_{k_{ij}^n = k_{ij}^u}^{u_{ij}^k} A_{ijk_{ij}^n}^p x_{ijk_{ij}^n}} \leq k_T^{\max}.$$

где  $k_T^{\min}$ ,  $k_T^{\max}$  — допустимые границы отклонений текущего коэффициента вскрыши в меньшую и большую сторону в годовом плане карьера.

8. Условие иметь нормативные объемы вскрытых и подготовленных запасов руды к концу планируемого периода представляется

$$\sum_{i=1}^{N_z} \sum_{j=1}^s \sum_{k_{ij}^n = k_{ij}^u}^{u_{ij}^k} A_{ijk_{ij}^n}^{ps} x_{ijk_{ij}^n} \geq \frac{N_n}{12} \cdot A_{nl}^p (100 - p) / (100 - p), \quad (14)$$

где  $A_{ijk}^{p6}$  — объем вскрытых запасов руды между  $k_{ij}$ -м вариантом контура горных работ в  $ij$ -м блоке и площадкой вышележащего уступа ( $m^3$ );  $N_H$  — норматив вскрытых запасов руды в карьере (месяц);

Объем вскрытых запасов руды между  $k_{ij}^H$ -й нарезкой в  $ij$ -м блоке и минимальной площадкой вышележащего уступа в выражении (14) определяется из выражения

$$A_{ijk_{ij}^H}^{p6} = A_{ij(k_{(i+1)j}^H - n_{(i+1)j}^{pn})}^P - A_{ijk_{ij}^H}^P, \quad (15)$$

где  $A_{ij(k_{(i+1)j}^H - n_{(i+1)j}^{pn})}^P$  — объем руды в

$ij$ -м блоке между нарезкой, проходящей по вертикали перед площадкой вышележащего уступа ( $k_{(i+1)j}^H - n_{(i+1)j}^{pn}$ -я нарезка от ЦЛ), и исходной нарезкой  $k_{ij}^H$  по  $ij$ -му блоку, включая сами нарезки,  $m^3$ .

Тогда, заменив  $A_{ijk_{ij}^H}^{p6}$  в (14) на выражение в (15), получим

$$\sum_{i=1}^{N_s} \sum_{j=1}^s \sum_{k_{ij}^H = k_{ij}^K}^{u_{ij}^K} (A_{ij(k_{(i+1)j}^H - n_{(i+1)j}^{pn})}^P - A_{ijk_{ij}^H}^P) \cdot x_{ijk_{ij}^H} \geq \frac{N_H}{12} \cdot A_{nl}^P (100-p)/(100-p). \quad (16)$$

9. Условие выбора из всех возможных вариантов контура выемки по решению задачи только одного можно представляется

$$\sum_{k_{ij}^H = k_{ij}^K}^{u_{ij}^K} x_{ijk_{ij}^H} \leq 1 \quad \text{и} \quad \sum_{k_{ij}^H = 1}^{k_{ij}^H - 1} x_{ijk_{ij}^H} = 0, \quad (17)$$

$$i = \overline{1, N_g}; \quad j = \overline{1, S}.$$

Объемы руды  $A_{ijk_{ij}^H}^P$  ( $m^3$ ) и вскрыши  $A_{ijk_{ij}^H}^6$  ( $m^3$ ) в  $k_{ij}$  — варианте контура выемки из  $ij$ -го блока определяются путем суммирования их объемов по нарезкам между внешней границей этого контура и исходным положением уступа, т. е.

$$A_{ijk_{ij}^H}^P = \sum_{r_{ij}^H = k_{ij}^H}^{k_{ij}^H} A_{ijr_{ij}^H}^{pH};$$

$$A_{ijk_{ij}^H}^6 = \sum_{r_{ij}^H = k_{ij}^H}^{k_{ij}^H} (Q_{ijr_{ij}^H}^H - A_{ijr_{ij}^H}^{pH}), \quad k_{ij}^H = \overline{1, u_{ij}^K},$$

где  $A_{ijr_{ij}^H}^{pH}$ ,  $A_{ijr_{ij}^H}^{6H}$ ,  $Q_{ijr_{ij}^H}^H$  — объемы руды, вскрыши и горной массы в  $r_{ij}^H$ -й нарезке внутри  $k_{ij}^H$ -го контура выемки,  $m^3$  ( $r_{ij}^H = 1, 2, \dots, r_{ij}^H, \dots, k_{ij}^H$ ).

Положения нарезок  $k_{ij}^H$  и  $r_{ij}^H$  определяются одинаково от ЦЛ. Разница лишь в том, что  $k_{ij}^H$  — номер варианта планового контура выемки, определяемый по нарезке его внешней границы, а  $r_{ij}^H$  — номер конкретной нарезки, входящей в данный контур выемки. Испытания модели годового планирования и ее программного продукта на практике показывает, что замена объемов руды, вскрыши и горной массы в контурах выемки в приводимых формулах суммами объемов и качественных характеристик горной массы составляющих их нарезок, как показано выше, облегчает вычислительные процедуры оптимизации планов.

В подсистеме годового планирования САПР-Карьер секторы имеют

ширину до 200 м, выемочные блоки (нарезки) — ширину 20 м. Точность моделирования горных работ возрастает с уменьшением размеров выемочных блоков, но при этом сильно возрастает время решения задачи планирования и возникают другие трудности вычислительного характера. Для годового планирования, где на первом этапе пока устанавливается область оптимальных решений — контуров горных работ, которые на последующем этапе посредством интерактивных поисков принимают окончательную форму, нет необходимости добиваться столь высокой точности решений на этом этапе планирования.

Информационное обеспечение данной подсистемы построено на основе блочной геоинформационной модели месторождения и карьера с информацией о конечных, поэтапных (пятилетних) и существующих контурах карьера и рудных тел, геологических отчетов с количественными и качественными характеристиками этих контуров и других документов. Эта информация, изначально сформированная на AutoCAD-2007, посредством объединенного программного модуля AutoCAD-Delfi 7 переводится в специальные таблицы баз данных, где указываются по горизонтам и секторам номера нарезок от ЦЛ, по которым проходят исходные и конечные контура технологических блоков на планируемый год и все количественные и качественные характеристики этих нарезок (объемы руды и вскрыши, содержания руд, расстояния транспортирования и удельные стоимости погрузки и перевозки их в рудо- и породопотоках, затраты на переработку и др.). Затраты на перевозку определяются по прогнозам развития транспортных схем в перспективных планах

горных работ [4]. Отдельно вводятся плановые задания и проектно-нормативные материалы.

Попытки применить для оптимизационных расчетов известные алгоритмы Гомори не дали положительных результатов из-за несовместимости размеров соседних столбцов матриц вычислений при такой многомерности решаемых задач. Поэтому программный комплекс на Delfi 7 основан на методах «внутренних узлов» в графо-аналитических построениях и псевдобулевских уравнениях поиска решений.

Опытно-промышленные испытания целочисленно-линейной модели и программно-геоинформационного комплекса годового и перспективного планирования горных работ с дискретной структурой вводимых данных проведены с целью определения области оптимальных решений в задаче автоматизированного планирования горных работ на карьере Акжалского полиметаллического месторождения в Казахстане за 2007—2008 гг.

Сравнение полученных результатов решения с заданными ограничениями задачи годового планирования приводится в табл. 1.

Как видно из таблицы, полученные результаты расчетов находятся в допустимой области решений, согласно задаваемым ограничениям модели планирования. Например, расчетный объем балансовой руды за год 722,9 тыс.т отличается от планового 718,7 тыс.т в большую сторону всего на 0,5 %, хотя изначально был задан большой допуск на увеличение годовой производительности карьера по руде — до 20 %.

Посредством специально разработанного программного модуля подсистемы автоматически формируются результаты решений — конту-

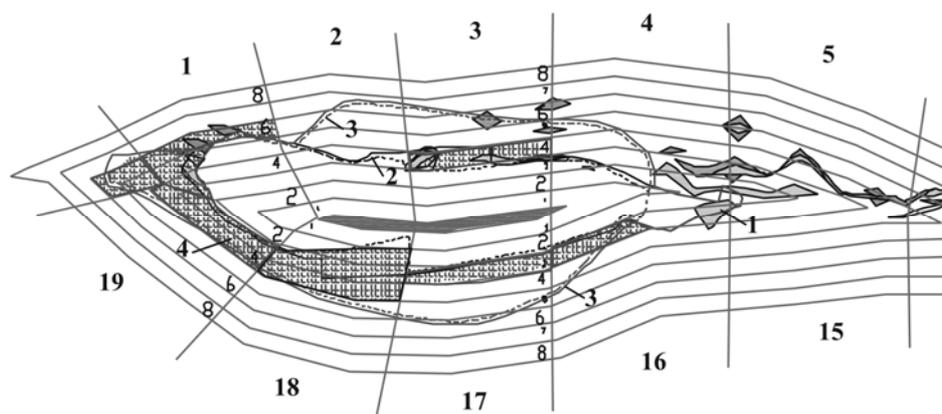
ры рекомендуемых вариантов положения горных работ на конец года. Ниже, на рис. 3 показаны нарезки массива по секторам на горизонте 545 м, которые по решению зада-

чи вошли в план горных работ на 2007 г. Здесь отдельными линиями обозначены контуры горных работ на начало планируемого года и на конец 2010 г.

Таблица 1

**Ограничения задачи и результаты решения**

Наименования параметров и показателей	Обозначения	Решение задачи	Заданные границы
Количество балансовой руды за год, тыс.т	$A_r^{pb}$	722,9 (+0,5%)	-5 % / +20 %
Текущий коэффициент вскрыши, м <sup>3</sup> /т	$K_T$	6,07	5,5 ÷ 6,8
Среднее содержание цинка в руде, %	$\alpha_{cp}^{(1)}$	3,68	3,4 ÷ 4,4
Среднее содержание свинца в руде, %	$\alpha_{cp}^{(2)}$	0,77	0,57 ÷ 0,87



**Рис. 3. План горных работ на горизонте карьера:** 1 — контуры рудных тел; 2 — контур уступа на горизонте к началу планирования горных работ; 3 — граница горных работ к концу пятилетнего периода календарного плана развития горных работ на карьере; 4 — оптимальные контуры выемки по секторам на горизонте карьера по плану горных работ на 2007 год

По блокам и секторам поиск оптимальных контуров горных работ на конец планируемого года производился между этими линиями контуров.

Указанные контуры горных работ получены при работе подсистемы планирования в пакетном режиме и носят рекомендательный характер. Сглаживание контуров и их последующие корректировки по отклоне-

ниям от плановых заданий в интерактивном режиме работы (т.е. в режиме диалога с программным комплексом), осуществляется в другом модуле подсистемы планирования горных работ [5, 6].

Методические основы и программный комплекс календарного планирования проектов разработаны в лаборатории «Открытые горные работы» РГП «Национальный

центр по комплексной переработке минеральных ресурсов Республики Казахстан» (г. Алматы) и положительно апробированы при разра- ботках календарных планов разви- тия горных работ на железорудных карьерах ОАО «Соколовско-Сар-

Казахстан» (г. Алматы) и положи- тельно апробированы при разра- байское ГПО» и на полиметалличе- ских месторождениях Центрального Казахстана.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Капутин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ (для горных инженеров). Недра, Санкт-Петербург, 2004. 424 стр.

2 Dzharkaganov U.A., Bukeikhanov D.G., Bekmurzayev B. Zh., Zhanasov M.Zh. Planning of Development of Mining Operations and Freight Traffics at an Open Cast by Analytic-Imitation Systems. «Copper 2003 — Cobre 2003 International Conference». Centro de Minería Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile, 2003.

3. Dzharkaganov U.A., Bukeikhanov D.G. Planning of winning operations at open casts with due account of indexes of ore mining and preparation. THE FOURTEENTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINE PLANNING AND EQUIPMENT SELECTION BANFF, ALBERTA, CANADA OCTOBER 31-NOVEMBER 3, 2005.

4. Джарлкаганов У.А. Планирование грузоперевозок в автоматизированной системе планирования и управления открытыми горными работами. «Горное дело

и металлургия в Казахстане. Состояние и перспективы». Том III «Обеспечение и управление ГМК». Труды второй Междуна- родной научно-практической конфе- ренции, посвященной 15-летию независи- мости Республики Казахстан. Алматы, 2006.

5 Джарлкаганов У.А., Букейханов Д.Г., Бекмурзаев Б.Ж. Оптимальное планирование развития горных работ в карьере посредством формальных и не- формальных процедур. «Проблемы от- крытой разработки недр и обогащения полезных ископаемых» /Материалы 1-ой Международной научно-практической конференции. г. Житикара, 2003 г. с. 136—140.

6 Джарлкаганов У.А. Горно-геомет- рические расчеты при планировании развития горных работ в интерактивном режиме САПР-КАРЬЕР. «Современное состояние и перспективы развития горнодобывающих от- раслей промышленности». / Материалы Вто- рой Международной научно-практической конференции. Рудный, 2004.

#### Коротко об авторах

Букейханов Д.Г. — доктор технических наук, профессор, зав. отделом «Геотехноло- гии, горной системологии и недроведения», РГП «Национальный центр по комплекс- ной переработке минерального сырья Республики Казахстан».

E-mail: lorn2004@mail.ru.

Джарлкаганов У.А. — старший научный сотрудник лаборатории «Открытые горные работы» РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сы- рья Республики Казахстан», E-mail: dzharlkaganov@mail.ru

