

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 519.21

А.С.Сорокин

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ ВРЕМЕННОГО ФАКТОРА ГИДРОТЕХНОЛОГИИ

§1. Моделирование резерва мощности на гидро-шахте.

Анализ работы гидрошахт позволил выявить основные причины, вызывающие перебои в уровне добычи:

- непостоянное количество одновременно работающих очистных и подготовительных забоев;
- непостоянное время работы шахты (время подачи воды в шахту) по вине обезвоживающей фабрики (фабрика не принимает, нет поступления воды в резервуары технической воды высоконапорной насосной станции);
- непостоянное время работы шахты из-за аварийного состояния шахтного оборудования (гидроподъём, насосная станция);
- непостоянная производительность в очистных и подготовительных забоях гидрошахты;
- непостоянное соотношение между объемами нарезных и очистных работ, которое при определенных размерах выемочного столба и мощности пласта определяется непостоянством коэффициента извлечения.

Первые три фактора являются технологическими недостатками периода освоения и их влияние в настоящее время сводится до минимума за счет резервирования и повышения надежности оборудования. Естественно, что эти факторы являются не только причинами, вызывающими случайный характер количества отработанных за сутки машино-часов забойного оборудования, но приводят к общему снижению этого количества, а, следовательно, к снижению всего уровня добычи. Что же касается производительности забойных машин и особенно гидромониторов, а также коэффициента извлечения, то предотвратить их случайные отклонения какими-либо организационными мероприятиями практически невозможно, ибо они вызваны, главным образом, различной прочностью угля, прослойков, различной силой отжима угля и различным характером перепуска обрушенных пород, обрушения кровли в отдельных заходках. Поэтому при проектировании и создании математических моделей необходимо учитывать элементы случайности в этих показателях.

В простейшем виде объем добычи аналитиче-

ски можно выразить следующим образом:

$$\bar{A}_{сум} = 0.9 \frac{Q}{q_0} \Pi \cdot T_{см} \frac{\Pi_0 \Pi(1+m)}{Z \cdot \Pi_0 + m \Pi} \quad (1)$$

где 0.9 - коэффициент использования воды (10% на сброс);

\bar{Q} - часовой расход насосной станции, м³/час;

q_0 - расход воды в очистном забое, м³/час;

q_n - расход воды в подготовительном забое, м³/час;

Π - число добывающих смен ;

$T_{см}$ - число часов работы в смену;

Π_0 - производительность гидромонитора в очистном забое, определяемая как добыча из забоя, отнесенная ко времени подачи высоконапорной воды в забой, т/чел;

Π_n - производительность гидромонитора (проходческого комбайна) в подготовительном забое,

β - отношение запасов, подлежащих выемке из очистных заходок, к добыче из нарезки ;

K_u - коэффициент извлечения из очистных заходок;

m - отношение количества извлекаемых запасов из очистных забоев к добыче из подготовительных забоев, $m=K_u\beta$;

Z - отношение расхода воды в подготовительном забое к расходу воды в очистном забое,

$$Z=q_n/q_0.$$

Имея в виду сказанное выше, в выражении (1) как случайные величины рассматриваются только Π , Π_0 , m . Причем при определенном давлении и расходе воды корреляционная связь между ними практически отсутствует.

Используя методы по определению числовых характеристик функций случайных величин, получим выражения для определения среднего квадратичного отклонения добычи в сутки. При этом следует учитывать, что имеем данные по обработке (оценка числовых характеристик фактического материала) для среднесменных значений Π , Π_0 , m . Добыча из каждого забоя не зависит от добычи из других забоев, а работа в какую-либо смену не зависит от того, сколько выдала другая какая-либо смена.

Согласно фактическим данным, проведенные на гидрошахте распределения указанных величин соответствуют с достаточной степенью достоверности нормальным законам распределения вероятностей. Тогда в первом приближении будем иметь выражение для среднего квадратичного отклонения суточной добычи:

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{0.9 Q \Pi}{q_0} \frac{T_{cm} \Pi_0 \Pi_n}{[Z \Pi_0 + m \Pi_n]^2}} \sigma_B,$$

где

$$\sigma_B^2 = [m(1+m)\Pi_n V_1]^2 + [Z(1+m)\Pi_0 V_2]^2 + [m(\Pi_n - Z\Pi_0)V_3]^2,$$

причем $V_1 = 0,50$ - коэффициент вариации Π_0 ;
 $V_2 = 0,37$ - коэффициент вариации Π_n ;
 $V_3 = 0,18$ - коэффициент вариации m .

Данные хронометражных наблюдений дали возможность выявить общность коэффициентов вариации приведенных выше величин для различных пластов, близких по своим значениям, приведенным величинам и не превышают их.

Здесь V_1 --коэффициент вариации Π_0 при гидромониторной выемке;

$V_2 = 0,37$ - относится к механогидравлической проходке, для гидромониторной проходки

$V_2 = 0,45$ в пределах блока.

В настоящее время имеется обширный материал по производительности забойных машин на гидрошахтах Кузбасса.

Анализ работы и опыт эксплуатации первого района гидрошахты "Юбилейная" показал, что производительность гидромониторной выемки в очистных забоях превышает проектную мощность. Однако малая производительность в нарезных забоях (11 т/чел) и значительный объём нарезных работ ($m < 2$) при существующей мощности высоконапорной насосной станции не в состоянии обеспечить проектный уровень добычи $A_{cym} = 4000$ т/сутки и согласно выражению (1) в состоянии обеспечить 2700 т/сутки. Достигнуть проектного уровня добычи возможно при выполнении нарезных работ механогидравлической выемкой с производительностью по углю $\Pi_n > 25$ т/чел. При этом по приведенному выше методу расчета будем иметь

$$A_{cym} = 4000 \text{ т/сутки},$$

$$\sigma_A = 300 \text{ т/сутки}.$$

При нормальном законе распределения добычи в сутки с практической достоверностью можно принять

$$\bar{A}_{cym} - 3\sigma_{A_{cym}} \leq A_{cym} \leq \bar{A}_{cym} + 3\sigma_{A_{cym}},$$

$$A_{max} = 4900 \text{ т/сутки},$$

$$A_{min} = 3100 \text{ т/сутки}.$$

Если допустить, что в отдельные промежутки времени может иметь место невыполнение су-

точного задания, но обязательным является выполнение месячного задания, то больший интерес представляет величина, характеризующая колебания среднесуточной добычи за отдельные месяцы.

Иначе говоря, срывы и перевыполнения задания за отдельные сутки компенсируют друг друга, что приводит к меньшей вариации месячной добычи или, что тоже, среднесуточной добычи в течение месяца. При условии постоянства распределения ежемесячной добычи по пластам и постоянном расходе воды величина среднего квадратичного отклонения для среднесуточной добычи за месяц будет

$$\sigma'_{A_{cm}} = \sigma_{A_{cym}} / \sqrt{n},$$

где n - число рабочих дней в месяце,

при $n = 25$ имеем $\sigma'_{A_{cm}} = 60 \text{ т/сутки}$;

$$A_{max} = 4200 \text{ т/сутки};$$

$$A_{min} = 3800 \text{ т/сутки},$$

т.е. в конце месяца будем иметь плюс и минус к плану в пределах ± 5000 тонн.

Однако невыполнение месячного плана нельзя допустить, нужно, чтобы

$$A_{min} = 4000 \text{ т/сутки}.$$

Тогда с небольшой погрешностью составит

$$A_{max} = 4400 \text{ т/сутки}.$$

Таким образом, расчетная суточная добыча составит

$$A_{cym} = 4200 \text{ т/сутки}.$$

Иначе говоря, расход высоконапорной воды и численность бригад должны рассчитываться на обеспечение добычи 4200 т/сутки, если плановая добыча составляет 4000 т/сутки, т.е. с коэффициентом 1,05.

Что же касается обезвоживающего комплекса, то последний должен преодолевать ежесменные колебания уровня добыче (более кратковременные колебания сглаживаются). При трехсменной работе добыча в смену должна в среднем составить

$$A_{cm} = A_{cym} / 3 = 1400 \text{ т/смену},$$

а величина среднего квадратичного отклонения

$$\sigma_{A_{cm}} = \sigma_{A_{cym}} / \sqrt{3} = 176 \text{ т/смену}.$$

При нормальном законе распределения ежесменной добычи с практической достоверностью можно принять:

$$A_{max} = 1930 \text{ т/смену};$$

$$A_{min} = 870 \text{ т/смену}.$$

Таким образом, во избежание простоев первого района по вине обезвоживающего комплекса, последний должен быть рассчитан на переработку по твердому $A = 2000 \text{ т/смену}$.

Анализ работы гидрошахт позволил выяснить основные причины, вызывающие перебои в уровне добычи и вносящие элемент случайности.

Из этих причин выделены те, которые могут быть ликвидированы путем организационных;

мероприятий и резервирования забоев.

Учитывая оставшиеся внутришахтные причины, вносящие элемент случайности в объем добычи за тот или иной период, определяем, что для гарантии выполнения месячного задания, рассчитанного по средним показателям, требуется весьма незначительный резерв мощности, который составит 1,05.

Иначе, для обеспечения среднесуточной за месяц добычи 4000 т/сутки мощность шахты должна быть рассчитана на среднесуточную добычу 4200 т/сутки. (В этом случае обязательно выполнение месячного задания, а колебания добычи за отдельные сутки или смены могут вызывать в ряде случаев невыполнение сменного или суточного задания).

Вывод, сделанный выше, будет справедливым при условии, что суточные, сменные и т. д. колебания добычи не лимитируются обезвоживающей фабрикой и транспортом. Колебания более кратковременные, чем сменные, сглаживаются системой безнапорного гидротранспорта в шахте, регулировкой консистенции в гидроподъёме и бункерами фабрики. Поэтому фабрика должна воспринимать сменные колебания добычи шахты.

Учитывая сменные колебания добычи шахты, для ее бесперебойной работы фабрика должна иметь возможность перерабатывать 2000 т. угля в смену при трехсменной работе и средне - суточном объеме работ - 4200 т/сутки. Иначе, резерв мощности на фабрике должен составлять 1,05.

§2. Модель вероятностной оценки временного фактора, необходимого для обеспечения заданного объёма добычи

Исследование посвящено определению функциональной зависимости между вероятностями перевыполнения суточного задания по объему добычи и вероятностью перевыполнения задания по объему добычи за более длительный срок времени, например, месяц, год и т. д.

Известно, что объем добычи за месяц складывается из ежесуточных добыч, т.е.

$$A = \sum_{i=1}^n A_i . \quad (2)$$

Полагая $n= 25$, из формулы (2) с помощью обычных методов теории вероятностей [1] для математических ожиданий выполнения заданий находим следующее соотношение:

$$m_A = \sum_{i=1}^N m_{A_i}, \quad (3)$$

для средних квадратичных отклонений

$$\sigma_A^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_{A_i}^2 + 2 \sum_{i,j=1}^N K_{ij}, \quad (4)$$

где σ_A^2 – дисперсия величины A ; K_{ij} - коэффициенты ковариации.

Предположим, что, все случайные величины

распределены по нормальному закону.

Тогда по теореме Ляпунова [2-3], полагая, что выполнено условие Линдерберга, получим, что вероятность перевыполнения суточного задания вычисляется по формуле

$$P_i \{ A_i < X \} = 1 - \Phi * \left(\frac{A_i - m_{A_i}}{\sigma_{A_i}} \right), \quad (5)$$

где $\Phi^*(z)$ - нормальная функция распределения.

Если обозначить через $\Phi^*(z)^{-1}$ обратную функцию, то из формулы (5) будем иметь

$$\frac{A_i - m_{A_i}}{\sigma_{A_i}} = \Phi^{-1} (1 - P_i \{ A_i < X \}). \quad (6)$$

Соотношение (6) можно представить в следующем виде:

$$m_{A_i} = A_i - \sigma_{A_i} \Phi^{*-1} (1 - P_i \{ A_i < X \}). \quad (7)$$

Тогда из формул (2) и (3) следует, что

$$m_A = A - \sum_{i=1}^N \sigma_{A_i} \Phi^{*-1} (1 - P_i \{ A_i < X \}). \quad (8)$$

С помощью элементарных преобразований соотношение (8) приобретет вид

$$\frac{A_i - m_A}{\sigma_A} = \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{A_i}}{\sigma_A} \cdot \Phi^{-1} (1 - P_i \{ A_i < X \}) \quad (9)$$

Нетрудно заметить, что вероятность перевыполнения месячного задания по объему добычи определяется формулой

$$P \{ A < Y \} = 1 - \Phi^* \left(\frac{A - m_A}{\sigma_A} \right). \quad (10)$$

Из (9) и (10) следует функциональная зависимость вероятности перевыполнения месячного задания P от вероятностей перевыполнения суточных заданий P_i

$$P \{ A < X \} = 1 - \Phi^* \left[\sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{A_i}}{\sigma_A} \cdot \Phi^{-1} (1 - P_i \{ A_i < X \}) \right] \quad (11)$$

Сделаем несколько замечаний относительно формулы (11). Предположим, что коэффициенты ковариации в формуле (4) равны нулю и дисперсии суточных заданий равны между собой. Тогда

$$\sigma_A = \sqrt{N} \sigma_{A_i}.$$

При этих дополнительных предположениях формула (11) принимает вид

$$P_{\text{мес}} = 1 - \Phi^* \left[\frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N \Phi^{-1} (1 - P_i) \right].$$

Если еще предположить, что вероятности перевыполнения суточного задания равны между собой, то

$$P_{\text{мес}} = 1 - \Phi^* \left[\sqrt{N} \Phi^{*-1} (1 - P_{\text{сум}}) \right]. \quad (12)$$

Соотношение (12) дает аналитическую зависимость между вероятностью перевыполнения

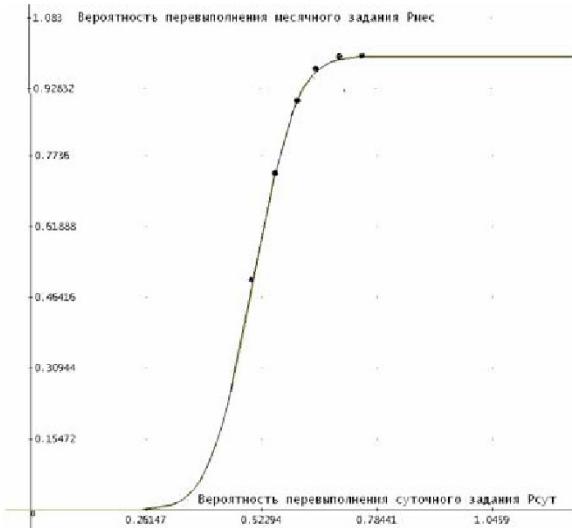


Рис.1 Зависимость вероятности перевыполнения месячного задания от вероятности перевыполнения суточного задания.

месячного задания $P_{\text{мес}}$ и вероятностью перевыполнения суточного задания $P_{\text{сум}}$.

Рассуждая аналогично, получим, что

$$P_{\text{год}} = 1 - \Phi^* \left[\sqrt{N_1} \Phi^{*-1} (1 - P_{\text{сум}}) \right], \quad (13)$$

где $P_{\text{год}}$ - вероятность перевыполнения годичного задания, N_1 - количество рабочих дней в году ($N_1 = 305$).

Если изобразить графически соотношения (12) или (13), то для значений $P_{\text{сум}}$, близких к 0.5, получаем значения $P_{\text{мес}}$ или $P_{\text{год}}$, близкие к 0.5. С увеличением $P_{\text{сум}}$ до 0.7 кривая резко возрастает. При значениях $P_{\text{сум}} > 0.7$ кривая становится более пологой и стремится к своей горизонтальной асимптоте $P_{\text{мес}} = 1$.

В заключение приведем таблицы 1 и 2 числовых значений, полученных с помощью формул

Таблица 1

$P_{\text{сум}}$	0.5000	0.5500	0.6000	0.6500	0.7000	0.7500
$P_{\text{мес}}$	0.5000	0.7351	0.8973	0.9730	0.9955	0.9996

Таблица 2

$P_{\text{сум}}$	0.3000	0.5000	0.6000	0.7000	0.7500	0.8000
$P_{\text{год}}$	0.00016	0.46513	0.95179	0.99967	0.99999	0.99999

(12), (13) и таблиц функций $\Phi^*(z)$ [1]. Из табл. 1 видно, что при обеспечении перевыполнения суточного задания с вероятностью $P_{\text{сум}} = 0.7000$ можно утверждать, что месячное задание будет перевыполнено с вероятностью $P_{\text{мес}} = 0.9955$. Практически это значит, что месячное задание будет достоверно перевыполнено.

На рис. 1 представлена зависимость вероят-

ности перевыполнения месячного задания $P_{\text{мес}}$ от вероятности перевыполнения суточного задания $P_{\text{сум}}$.

Таким образом, математическая модель веро-

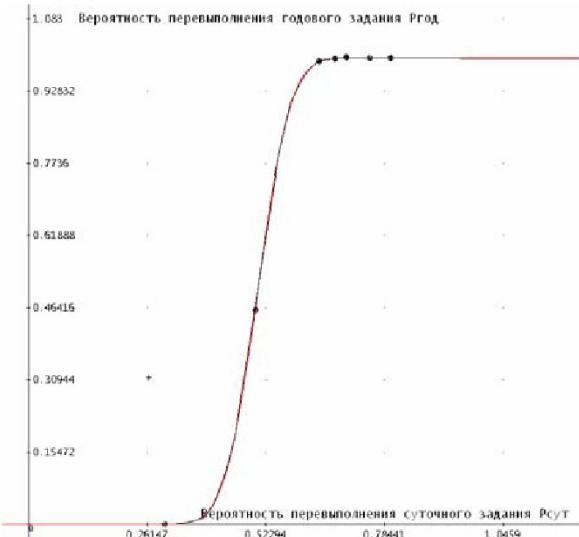


Рис.2 Зависимость вероятности перевыполнения годового задания от вероятности перевыполнения суточного задания.

ятности перевыполнения месячного задания $P_{\text{мес}}$ от вероятности перевыполнения суточного задания $P_{\text{сум}}$, будет иметь следующий вид:

$$P_{\text{мес}} = 0.5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{12.5 \cdot P_{\text{сум}} - 6.3125} \exp(-\frac{x^2}{2}) dx \quad (12')$$

На рис. 2 представлена зависимость вероятности перевыполнения годового задания $P_{\text{год}}$ от вероятности перевыполнения суточного задания $P_{\text{сум}}$.

Таким образом, математическая модель вероятности перевыполнения годового задания $P_{\text{год}}$ от вероятности перевыполнения суточного задания $P_{\text{сум}}$, будет иметь следующий вид:

$$P_{\text{год}} = 0.5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{17.5 \cdot P_{\text{сум}} - 8.8375} \exp(-\frac{x^2}{2}) dx \quad (13')$$

Предлагаемая методика получения функциональной зависимости между вероятностями перевыполнения суточного задания по объему добычи и вероятностью перевыполнения задания по объему добычи за более длительный срок времени.

Например, за месяц - формула (12'), или за год - формула (13'), может быть с успехом применена для получения функциональных зависимостей между вероятностями сменного и суточного (недельного) заданий или сменного (недельного) и годичного заданий и т.д. Все эти зависимости являются частными случаями формулы (11).

Из численных расчетов по формуле (12) выте-

кает, что в 30 случаях из 100 фактическое выполнение суточного задания было несколько меньше планового (невыполнение плана). А в более 70 случаях из 100 фактическое выполнение суточного задания было равно или больше планового (выполнение или перевыполнение плана), месячное задание по объему добычи будет всегда выполнено и даже перевыполнено.

§ 3. Математическая модель «подготовительный -нарезной – очистной забой» с применением целочисленного линейного программирования

На основе анализа работы гидрошахт Кузбасса выполнена работа по определению соотношения действующих очистных, подготовительных и нарезных забоев, обеспечивающих плановые уровни добычи угля по гидрошахте и наиболее интенсивную при этом подготовку очистного фронта [4-7].

Количество работающих подготовительных, нарезных и очистных забоев, которое может обеспечить заданный уровень добычи угля по шахте при условии максимальной подготовки очистного фронта, лимитируется количеством подаваемой в шахту воды:

$$Q_{\Pi}x + Q_Oy + Q_Nz \leq Q_t, \quad (14)$$

где Q_{Π} - расход технологической воды в одном подготовительном забое, м /сутки;

Q_O - расход технологической воды в одном очистном забое, м /сутки;

Q_N - расход технологической воды в одном нарезном забое, м /сутки;

Q_t - количество технологической воды, подаваемой в шахту, м /сутки;

x - число действующих подготовительных забоев;

y - число действующих очистных забоев;

z - количество действующих нарезных забоев.

Значения x , y , z по физическому смыслу задачи должны удовлетворять неравенству

$$A_{\Pi}x + A_Oy + A_Nz \geq A_t, \quad (15)$$

где A_{Π} - добыча из одного подготовительного

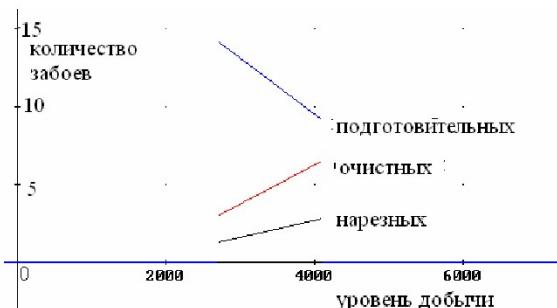


Рис. 3. Зависимости количества подготовительных, очистных, нарезных забоев от уровня добычи

забоя, т/сутки;

A_O - добыча из одного очистного забоя, т/сут;

A_N - добыча из одного нарезного забоя, т/сут;

A_t - установленный планом уровень добычи по шахте, т/сут.

Объём нарезных работ должен обеспечивать подготовку новых очистных забоев;

$$A_N\chi_1 z - A_Oy \geq 0, \quad (16)$$

где χ_1 - количество запасов, подготавливаемых для очистной выемки, приходящееся на одну тонну угля, добываемого из нарезных работ. Так как x , y , z являются положительными величинами [8], то

$$x, y, z \geq 0. \quad (17)$$

Прирост подготавливаемых запасов угля при работе установленного количества подготовительных, нарезных и очистных забоев аналитически может быть выражен следующим образом:

$$\Delta Z = A_{\Pi}\chi x - A_Oy - A_Nz, \quad (18)$$

где χ - количество запасов, подготавливаемых для очистной выемки, приходящееся на 1 т угля, добываемого из подготовительных забоев.

Из условия доставленной задачи определяем максимальное значение ΔZ при различных планах добычи угля по шахте.

При решении задачи выражения (14) – (17) представляют собой систему ограничений, а выражение (18) является целевой функцией:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\Pi}x + Q_Oy + Q_Nz \leq Q_t, \\ A_{\Pi}x + A_Oy + A_Nz \geq A_t, \\ A_N\chi_1 z - A_Oy \geq 0, \\ x \geq 0, \\ y \geq 0, \\ z \geq 0, \end{array} \right.$$

$$\Delta Z = A_{\Pi}\chi x - A_Oy - A_Nz \rightarrow \max.$$

В качестве примера рассчитываем количество действующих очистных, подготовительных и на-

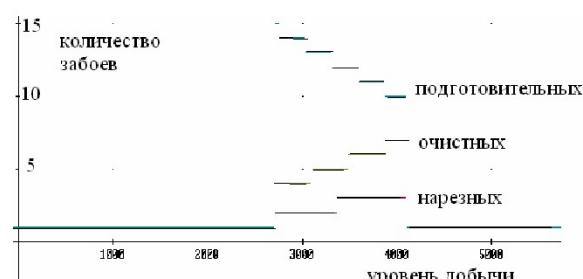


Рис.4. Целочисленные зависимости количества подготовительных, очистных, нарезных забоев от уровня добычи

резных забоев, соответствующее максимальному значению ΔZ при различных уровнях плановой добычи в условиях гидрошахты “Энергетическая”.

Исходные данные:

$$\begin{aligned} Q_P &= 1300 \text{ м}^3/\text{сут}, \quad Q_O = 1600 \text{ м}^3/\text{сут}, \\ Q_N &= 600 \text{ м}^3/\text{сут}, \quad A_P = 82 \text{ т}/\text{сут}, \\ A_O &= 450 \text{ т}/\text{сут}, \quad A_N = 150 \text{ т}/\text{сут}; \\ \chi &= 32; \quad \chi_1 = 7; \quad Q_t = 24000 \text{ м}^3/\text{сут}; \\ A_t &= 2800, 3200, 3400, 3700, 4000 \text{ т}/\text{сут}. \end{aligned}$$

В табл. 3 показаны значения, полученные при решении задач линейного программирования по приведенным выше исходным данным.

На рис. 3. показаны непрерывные модели зависимости численности подготовительных, очистных, нарезных забоев от установленного планом уровня добычи по шахте, т/сутки.

Аналитически эти зависимости изображаются линейными моделями.

Таким образом, математические модели подготовительных, очистных, нарезных забоев от установленного планом уровня добычи по шахте будут иметь следующий вид:

для подготовительных забоев

$$x = 23.9 - 0.0036A_t; .$$

для очистных забоев

$$y = 0.0025 A_t - 3.8 ; .$$

для нарезных забоев

$$z = 0.00108 A_t - 1.63 ..$$

Так как количество забоев величина целочисленная, представим модели для различных забоев в целочисленном виде [8, 9].

На рис. 4. показаны дискретные модели зависимости численности подготовительных, очистных, нарезных забоев от установленного планом уровня добычи по шахте, т/сутки.

Аналитически эти зависимости изображаются ступенчатыми линейными моделями.

Таким образом, дискретные математические модели подготовительных, очистных, нарезных забоев от установленного планом уровня добычи по шахте имеют вид:

для подготовительных забоев

$$x = I + \text{floor}(23.9 - 0.0036A_t); .$$

для очистных забоев

$$y = I + \text{floor}(0.0025 A_t - 3.8) ; .$$

для нарезных забоев

$$z = I + \text{floor}(0.00108 A_t - 1.63) .$$

На рис. 5 представлена зависимость прироста подготавливаемых запасов от уровня добычи от установленного планом уровня добычи по шахте (т/сутки), представимая линейной моделью.

Таким образом, математическая модель прироста подготавливаемых запасов от установленного планом уровня добычи по шахте будет иметь вид:

$$\Delta z = 64691.3 - 10.73 A_t .$$

На рис. 3 - 5 приведены результаты решения задач гидротехнологии.

Таким образом, пользуясь предложенным методом, можно определять соотношение действующих подготовительных, очистных и нарезных забоев, которое обеспечит выполнение плана добычи угля по шахте и воссоздание потерянного

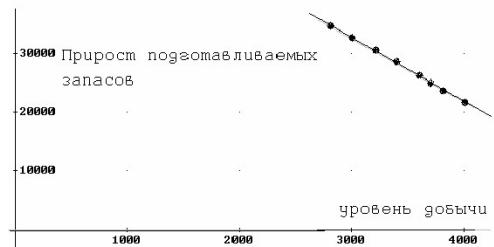


Рис. 5. Зависимость прироста подготавливаемых запасов от уровня добычи.

фронта очистных работ в возможно короткий срок. Суточная добыча из очистных, подготовительных и нарезных забоев при этом определяется по данным хронометражных наблюдений, а расход технологической воды - расчетным путем.

Выводы

1. Анализ работы гидрошахт позволил выяснить основные причины, вызывающие перебои в уровне добычи и вносящие элемент случайности. Определено, что для гарантии выполнения месячного задания, рассчитанного по средним показателям, требуется резерв мощности, который составит 1.05.

2. Осуществлена математическая постановка задачи оптимизации технологических схем в виде

Таблица 3

Уровень добычи по шахте	Прирост подготавливаемых запасов угля	Число действующих подготовительных забоев	Число действующих очистных забоев	Число действующих нарезных забоев
2800	34637	13.8351	3.23852	1.38794
3000	32491	13.1157	3.74211	1.60376
3200	30344	12.3962	4.24571	1.81959
3400	28197	11.6768	4.74931	2.03542
3600	26050	10.9574	5.25291	2.25125
3700	24977	10.5977	5.5047	2.35916
3800	23903	10.238	5.7565	2.46707
4000	21757	9.51854	6.2601	2.6829

задачи целочисленного линейного программирования, позволяющая реализовать отыскание оптимальной схемы с помощью современных компью-

терных технологий вычислений в математическом моделировании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. -М.: Физматгиз, 1962.
2. Баруча-Рид А.Т. Элементы теории марковских процессов и их применение. -М.: Наука, 1969.
3. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. -М.: Наука, 1965. -363 с.
4. Сорокин А.С., Костовецкий С.П., Роцин В.Д., Гонцов А.Е. Определение соотношений действующих очистных, подготовительных и нарезных забоев, обеспечивающих плановую добычу угля и воссоздание очистного фронта на гидроахатах.//Труды ВНИИГидроугля, вып. 25, Новокузнецк, 1972.
5. Сорокин А.С. Вероятностная оценка временного фактора, необходимого для обеспечения заданного объема добычи.//Труды ВНИИГидроугля, вып. 26, Новокузнецк, 1972. с. 18 – 21.
6. Сорокин А.С. К выбору оптимального числа очистных, подготовительных и нарезных забоев. Сб. Интенсификация разработки угольных месторождений Южного Кузбасса. Новокузнецк, 1974.
7. Сорокин А.С. Применение методов теории вероятностей к исследованию некоторых процессов производства. Труды 4-ой междунар. Конф. Кибернетика и технологии ХХI века. Воронеж, 2003. с. 312-323.
8. Лю Б. Теория и практика неопределенного программирования. М.: Бином. 2005. -416с.
9. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP. С.-П.: 2007. -376с.

□ Автор статьи:

Сорокин
Андрей Семенович
- канд. физ.-мат. наук, доцент,
ст.н.с. (филиал КузГТУ
в г. Новокузнецке)