

С. П. Пушкин, к. т. н., доцент (НТУУ «КПИ»)

## ОПТИМИЗАЦИЯ ДОБЫЧИ УГЛЯ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

S. P. Pushkin., docent (NTUU «KPI»)

## OPTIMIZATION OF COAL MINING IN THE CONDITIONS WITH COMPLEX STRUCTURE

*Предложены математическая модель и алгоритм задачи, позволяющие оптимизировать суточную (сменную) добычу угля в условиях сложноструктурных залежей.*

*Ключевые слова: математическая модель, алгоритм, план-график, добыча, транспорт.*

*Запропоновані математична модель та алгоритм задачі, що дозволяють оптимізувати добовий (змінний) видобуток вугілля в умовах складноструктурних покладів.*

*Ключові слова: математична модель, алгоритм, план-графік, видобуток, транспорт.*

*There are mathematical model and algorithm of the task which add to optimize daily (removable) coal mining in the conditions with complex structure.*

*Keywords: mathematical model, algorithm, schedule, mining, transport.*

**Вступление.** При управлении работой разреза, разрабатывающего сложноструктурные угольные пласты, на суточном (сменном) уровне необходимо учитывать горно-геологические условия в добычных забоях (зольность и теплотворная способность угля, наличие пород внутренней вскрыши, способ отработки и т.п.), состояние экскавационного оборудования, отклонение суммарного объёма добычи угля в каждом забое с начала планируемого периода от месячного план-графика добычных и транспортных работ, объём и качественные показатели добываемого угля в складах усреднительно-погрузочных комплексов (УПК), наличие и ожидаемое поступление вагонов министерства путей сообщения (МПС) и др. Принятие оперативных решений в различных производственных ситуациях с учётом указанных факторов является весьма сложной задачей, решение которой целесообразно выполнять с разработанных моделей оперативного управления добычи угля и компьютерной техники [1].

**Цель работы** – разработка математической модели и алгоритма решения задачи «Оптимизация суточных (сменных) объёмов добычи угля по разрезу».

**Изложения основного материала исследования.** Одной из целей, достижение которой необходимо обеспечить при решении задач оперативного управления, является организация работы разреза с минимально возможными отклонениями от план-графика работ, принятого при текущем планировании.

Другой целью является обеспечение требуемого качества угля, отгружаемого в маршруты МПС. Качество угля при его усреднении на УПК зависит как от объёмов добычи в каждом из забоев, так и от решений, принимаемых при распределении ДЛС (добычных локомотивосоставов) между складами УПК. Требуется таким образом управлять процессами добычи угля и его усреднения, чтобы качественные показатели угля в маршрутах МПС удовлетворяли требованиям ГОСТа.

Помимо обеспечения выполнения план-графика и отгрузки потребителям качественного угля, при оперативном управлении существует ещё одна цель – снижение простоев добычного оборудования и транспорта МПС. Простои могут возникать из-за отклонений от заданных объёмов добычи угля и от запланированного количества вагонов МПС. При этом возможны случаи переполнения складов либо полного их опорожнения, что соответственно вызовет простои либо добычного оборудования, либо транспорта МПС. Требуется принимать такие оперативные решения, которые обеспечивают согласование сменных (суточных) объёмов добычи угля на разрезе с соответствующими объёмами отгрузки угля в поступающие партии вагонов МПС.

Склады УПК, помимо функции усреднения угля, выполняют роль буферной ёмкости между добычными забоями и транспортом МПС. Если в среднем за значительный промежуток времени (более месяца) объём добычи по разрезу и объём отгрузки вагоны МПС являются сбалансированными, то для более коротких промежутков времени (порядка нескольких суток и менее) наблюдаются существенные отклонения между объёмом добычи и отгрузки. Такие отклонения могут неблагоприятно сказываться на работе разреза, так как при недостаточном количестве транспорта МПС возможны простои экскаваторов из-за переполнения склада, а при малых объёмах добычи простаивает транспорт МПС. Увеличение объёма добычи и, следовательно, запаса угля в складах уменьшает простои транспорта МПС, однако повышается вероятность простоев экскаваторов из-за возможного переполнения складов (при недостаточном количестве транспорта МПС). Уменьшения объёма добычи и запаса имеет противоположные влияния на возможные простои. Таким образом, мы приходим к задаче определения оптимального объёма добычи и уровня запасов на складах, при которых отрицательные последствия от несоответствия объёмов добычи и отгрузки были бы наименьшими.

Другим требованием, которое должно выполняться при определённых объёмах суточной добычи, является обеспечение суммарного объёма добычи по разрезу сначала планируемого периода, предусмотренного план-графиком добычных работ. Особенно важным является выполнение этого требования в конце планируемого периода (месяца). При этом необходимо учитывать производительность экскаваторов.

В такой постановке задача направлена на достижение двух целей – обеспечивать минимум отклонений объёма добычи по разрезу от план-графика

и минимум потерь из-за простоев экскаваторов и транспорта МПС. Условия соответствия объёма добычи значению, предусмотренному план-графиком, выступает в модели этой задачи в роли ограничения, а в качестве критерия оптимальности используется величина потерь из-за простоев экскаваторов и транспорта ПМС.

Исходными данными для решения задачи является план-график добычных работ, фактический объём добычи по разрезу, запас угля на складах УПК и прогноз поступления вагонов в МПС.

В результате решения задачи определяется суточное (сменное) задание по объёму добычи по разрезу, которое используется далее в задаче заданий по объёму добычи в каждом добычном забое.

Функционирование системы рассматривается в дискретном времени  $t=1, \dots, T$ , где  $T$  – конец интервала планирования (месяца), а каждой дискретной единице соответствует смена (сутки). Если на складах имеется запас  $Q_t$ , объём добычи по разрезу составляет  $Y_t$ , а при отправке поступает  $P_t$  вагонов МПС грузоподъёмностью  $d$ , то запас на следующем интервале составит:

$$Q_{t+Y_t} - dP_t \begin{cases} 0 & \text{при } Q_t + Y_t - dP_t \leq 0 \\ \text{при } 0 < Q_t + Y_t - dP_t < Q_{ck} \\ Q_{ck} & \text{при } Q_t + Y_t - dP_t > Q_{ck} \end{cases} \quad (1)$$

При  $Q_t + Y_t - dP_t < 0$  возникают простои транспорта МПС, что вызывает потери  $W_1^t$ , а при  $Q_t + Y_t - dP_t > Q_{ck}$  возникают простои добычного оборудования разреза, что вызывает потери  $W_2^t$ . Общие потери равны  $W_t = W_1^t + W_2^t$ . При  $0 \leq Q_t + Y_t - dP_t \leq Q_{ck}$  потери  $W_t = 0$ .

Так как потери зависят от величины запасов, вычисляемой по (1),

$dP_t$  — неуправляемая переменная, а  $Q_t$  и  $Y_t$  входят в (1) в виде суммы, то введём новую переменную  $X_t = Q_t + Y_t$ , относительно которой будем решать задачу.

При решении данной задачи используется критерий минимума потерь из-за простоев, который может быть записан в виде

$$W_{tn} = \sum_{t=tn}^T W_t(X_t, Q_{t-1}), \quad \text{где:} \quad (2)$$

$tn$  — момент решения задачи.

Условие соответствия объёма добычи значению, предусмотренному в план-графике, формализуется в виде ограничения

$$Y_{t-1} + Y_t \geq \bar{Y}_t, \quad t = tn, \dots, T, \quad \text{где:} \quad (3)$$

$Y_t, \bar{Y}_t$  — соответственно фактический и предусмотренный план-графиком объём добычи по разрезу.

Условие (3) обязательно должно выполняться в конце интервала планирования (месяца) при  $t=T$ . При  $t < T$ , особенно в начале интервала планирования, могут допускаться незначительные нарушения условия (3).

Для учета этого обстоятельства введём в (3) коэффициент  $\beta_t$  вида  $\beta_t = a_1 + (1 - a_1) \left(\frac{t}{T}\right)^{a_2}$ , где  $a_1 = (0,9 \div 1,0)$ ,  $a_2 = (3 \div 5)$  и условие (3) запишем как

$$Y_{t-1} + Y_t \geq \beta_t \bar{Y}_t, t = t_n, \dots, T. \quad (4)$$

При  $t < T$  коэффициент  $\beta_t < 1$ , и поэтому ограничение (4) «мягче», чем (3). При  $t = T$  ограничения (3) и (4) совпадают. Значение коэффициентов  $a_1$  и  $a_2$  определяются в результате цифрового моделирования при проектировании системы управления и её внедрении.

Так как возможности экскаваторов ограничены, вводится ограничение по производительности добычного оборудования:

$$0 \leq Y_t \leq \sum_{i=1}^N \frac{\tau_i^t b_i^t}{1 + k_{\theta_i}^t}, t = t_n, \dots, T, \text{ где:} \quad (5)$$

$b_i^t$  — нормативная производительность экскаваторов в  $i$ -ом забое;  $\tau_i^t$  — продолжительность работы экскаваторов в  $i$ -ом забое;  $k_{\theta_i}^t$  — коэффициент внутренней вскрыши в  $i$ -ом забое;  $N$  — количество забоев.

Требуется построить такую последовательность  $X_{t_n}^* = \{X_{t_n}^*, X_{t_n-1}^*, \dots, X_t^*\}$ , которая обеспечила бы минимум потерь (2) при условиях (4), (5). Значение  $Y_{t_n}^* = X_{t_n}^* - Q_{t_n}^*$  определяет оптимальный объём добычи в момент  $t_n$  по разрезу в целом. Это решение в соответствии с (1) определяет также и уровень запасов на складах.

Для решения задачи минимизации  $W_t$  воспользуемся методом динамического программирования [2].

Основные уравнения динамического программирования для данной задачи имеют вид:

$$W_t^*(Q_{t-1}) = \min_{\{X_t\}} [W_t(X_t, Q_{t-1}) + W_{t-1}^*(Q_{t-2})], \quad (6)$$

$$W_1^*(Q_0) = \min_{\{X_1\}} W_1(X_1, Q_0), \text{ где:}$$

$W_t^*(Q_{t-1})$  — значение критерия (2) при начальном уровне запаса  $Q_{t-1}$  и оптимальном управлении.

Для организации вычислительного процесса с помощью компьютерной техники вводится дискретное множество значений для  $Q_t$  и  $Y_t$  удовлетворяющие (5).

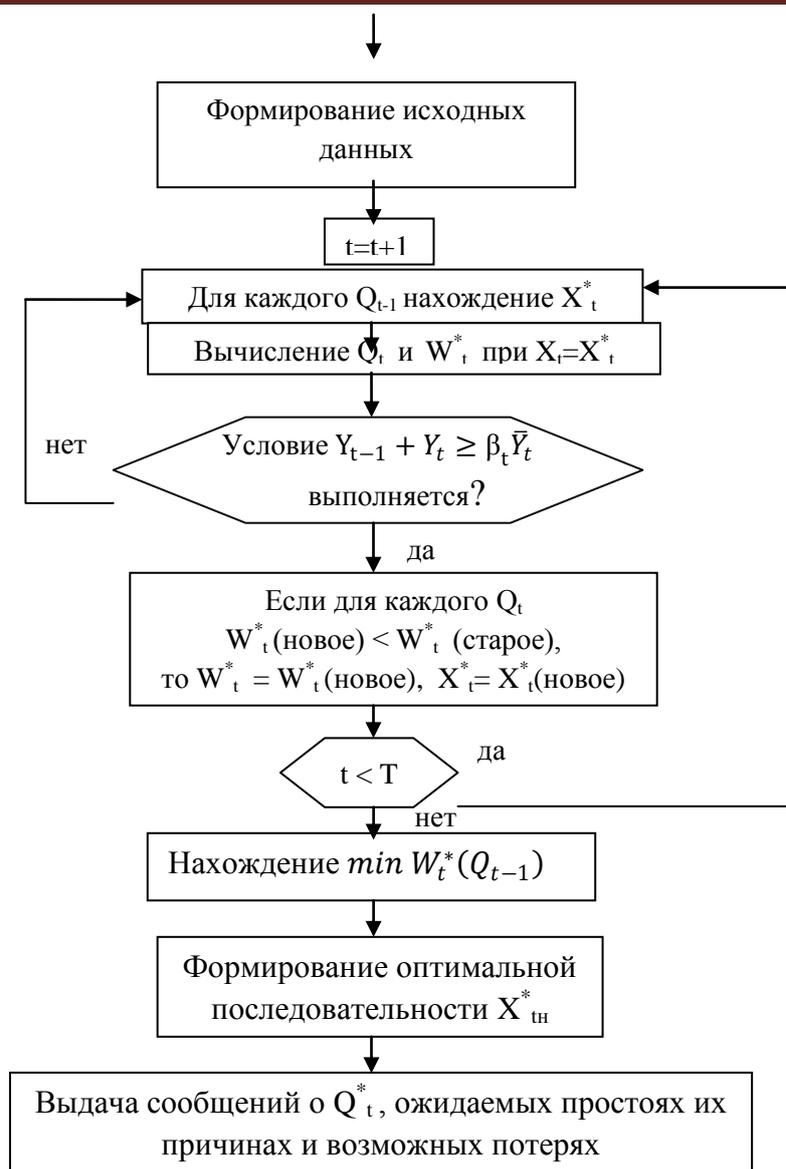


Рис. 1. Блок-схема алгоритма решения задачи «Оптимизация суточного (сменного) объёма добычи уже по разрезу».

Вычислительный процесс выполняется циклически для значений  $t=t_{н}, \dots, T$  (рис.1). На каждом шаге  $t$  для каждого из множества значений  $Q_{t-1}$  по (6) находится оптимальное  $X_t^*$ , для которого по (1) вычисляется  $Q_t$ . Если оказывается, что  $Y_t^* = X_t^* - Q_t$  не удовлетворяет (4), то вычисления выполняются для следующего значения  $Q_{t-1}$ . Если же ограничение (4) выполняется, то вычисляется и запоминается  $W_t^*(Q_{t-1})$ . Если для некоторых из дискретных значений  $Q_t$  находится несколько различных  $W_t^*(Q_{t-1})$ , то запоминается наименьшее вместе с соответствующим значением  $X_t^*$ . Минимальное значение  $W_t^*(Q_{t-1})$ , полученное на  $i$ -ом шаге, является оптимумом, а соответствующая последовательность  $\{X_{тн}^*, \dots, X_t^*\}$  — оптимальной. Значение  $Y_{тн}^* = X_{тн}^* - Q_{тн}$  определяет оптимальное сменное (суточное) задание по объёму добычи по разрезу.

Внедрение рассмотренной задачи в составе АСУ добычными работами на разрезе «Богатырь» ПО «Экибастузуголь» обеспечило сокращение продолжительности простоев экскаваторов в забоях и вагонов на углесборочной станции на 35-40%, снижение затрат на добычу угля с последующим его сжиганием на электростанциях на 4-6%.

### **Выводы**

1. Разработана математическая модель задачи оптимизации суточного (сменного) объёма добычи угля по разрезу, минимизирующая отклонение объёмов добычи от план-графика, разработанного при месячном планировании, простоев горнотранспортного оборудования и учитывающая фактический объём добычи по разрезу, запас угля на складах УПК и прогноз поступления вагонов МПС.

2. Внедрение разработанных математической модели и алгоритма решения задачи «оптимизация суточного (сменного) объёма добычи угля по разрезу» в составе АСУ добычными работами в условиях сложноструктурных залежей обеспечивает сокращение продолжительности простоев горнотранспортного оборудования на 35-40%, снижение затрат на добычу угля с последующим его сжиганием на электростанциях на 4-6%.

### **Список использованных источников**

1. Pushkin S.P. Obhruntuvannia ratsional'noho metodu stabilizatsii yakosti vuhillia v umovakh skadnostrukturnykh pokladiv. / S.P.Pushkin, A.O.Vodshanyk // Visnyk NTUU «KPI». Serii «Hirnyctvo». -К.,2008.-Vyp.17.-s.66-73.

2. Bellman R., Drejfus S. Prikladnye zadachi dinamicheskogo programmirovaniya. М., 1995, -285s.

*Стаття надійшла до редакції 20.12.2013 р.*

УДК 622.284

**В.В. Фомичев к. т. н., доц., В. А. Соцков асп. (ГВУЗ «НГУ»)**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ДРЕНАЖНОГО ШТРЕКА В УСЛОВИЯХ НАДРАБОТКИ В ШАХТАХ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА**

**V. V. Fomychov Cand. Sc. (Tech.), assoc. prof., V. Sotskov (NMU)**

### **INVESTIGATION OF STATE CHANGES MODEL OF THE DRAINAGE DRIFT IN OVERWORKING CONDITIONS FOR WESTERN DONBASS MINES**