

де  $b$  – нормальна товщина відбиваного шару, м;  $L$  – величина відставання відробки цілика над доставочними виробками, м.

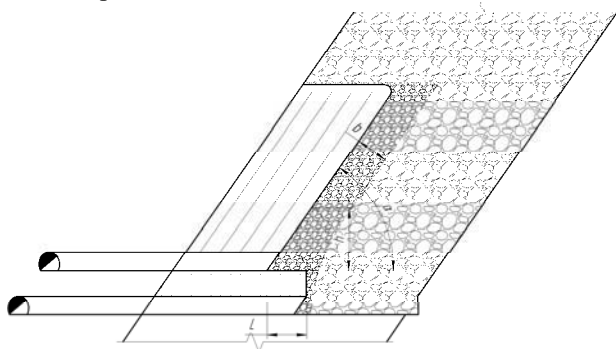


Рис. 5. Керування товщиною плоского потоку рудної маси відставанням відпрацювання цілика над доставочними виробками

$$\kappa \left| 0,000007 \left( \frac{L}{m} \right)^3 + 4 \cdot 0,0008 \left( \frac{L}{m} \right)^2 + 2 \cdot 0,029 \frac{L}{m} - 2 \cdot 0,6022 \right|$$

де  $m$  – глибина занурення робочого органа навантажувальної машини, м.

**Висновки.** Вирішивши рівняння (4) відносно  $L$ , можна знайти величину відставання відробки цілика над доставочними виробками, яка буде давати найліпші показники вилучення для конкретного кута на-

хилу і товщини (як правило кратній лінії найменшого опору) відбиваних шарів.

#### Список літератури

1. Малахов Г.М., Безух В.Р., Петренко П.Д. Теория и практика выпуска руды. – М.: Недра, 1968. – 308 с.
2. Чернокур В.Р., Шкробко Г.С., Шелегеда В.И. Добыча руд с поэтажным обрушением. – М.: Недра, 1992. – 271 с.

В исследованиях рассмотрен принцип формирования плоского потока рудной массы и возможность использования этого явления для уменьшения засорения руды при её послыном торцевом выпуске, за счет приведения к соответствию формы фигуры выпуска форме отбитого слоя полезного ископаемого. Приведены выражение для расчета толщины плоского потока и конструктивное решение, позволяющее управлять этим параметром.

**Ключевые слова:** *разубоживание, торцевой выпуск, прямоугольный поток*

The article is devoted to basic principles of forming of plain ore mass stream and using of this phenomenon for reducing ore dilution. The authors have set out algebraical expression of width of plain ore mass stream and design decision, that give instruments to control this parameter.

**Keywords:** *ore dilution, front drawing, plain stream*

Рекомендовано до публікації д.т.н. Б.М. Андреевим. 26.02.10

УДК 622.002.56-52

© Кипко А.Э., 2010

А.Э. Кипко

## К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОХОДКИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В ЗОНАХ ОБВОДНЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

А.Ye. Kipko

### TOWARDS ESTIMATION OF WORKINGS EFFICIENCY NEAR THE WATERED TECTONIC VIOLATIONS

Приведены результаты аналитических исследований эффективности технологического процесса проходки горных выработок в условиях обводненных тектонически нарушенных горных пород. Показано, что комбинированное обслуживание является наиболее приемлемым вариантом технического обслуживания подготовительной выработки. Получено аналитическое выражение для оценки эффективности ведения проходческих работ.

**Ключевые слова:** *эффективность, оптимизация, проходческие работы, аварийная ситуация, техническое обслуживание, надежность*

**Введение.** Эффективность проходческих работ, в общем случае, определяется коэффициентом машинного времени работы комбайна по отбойке и погрузке породы с учетом вспомогательных мероприятий [1, 2]. При проходке горных выработок в зонах обводненных тектонических нарушений, весьма важным является своевременное проведение мероприятий по ликвидации аварийных ситуаций, связанных с прорывами воды в выработанное пространство.

В настоящее время отсутствуют работы, результаты которых позволяют адекватно определять показатели эффективности ведения проходческих работ для их оптимизации.

Оптимизация проходческих работ в зонах обводненных тектонических нарушений связана, в первую очередь, с использованием технологии комплексного тампонажа и контролем качества её выполнения контролирующе-управляющим и иным оборудованием чрезвы-

чайно большой сложности, что существенно затрудняет задачу оптимизации, либо делает ее нереальной.

Таким образом, **целью настоящей работы** является разработка математического аппарата для оценки эффективности проходки горных выработок в зонах обводненных тектонических нарушений.

**Постановка задачи исследований.** Оценка надежности и эффективности функционирования отдельных подсистем (или технологических процессов в них идущих) предполагает переход к рассмотрению надежности и эффективности процесса проходческих работ в целом. Основная трудность такого подхода состоит в адекватном учете взаимодействия всех последовательно и параллельно идущих технологических и природных процессов в приконтурной области массива. Отказы отдельных подсистем, являясь случайными событиями, в совокупности образуют последовательность зависимых и независимых событий. Это имеет место тогда, когда та или иная предаварийная ситуация вызывает неуправляемое движение материальных потоков: потеря устойчивости боковых пород, внезапные порывы воды в выработанное пространство, ГДЯ, взрывы газа и пыли, и т.п. Это неуправляемое движение, вызванное отказом первой подсистемы (технологического процесса), оказывает воздействие на другие подсистемы (технологические процессы) в виде внешней нагрузки. Если величина этой нагрузки превышает предельно допустимое значение для смежной подсистемы, то происходит ее отказ.

Рассмотрение механизма формирования аварийной ситуации на основе приведенной выше модели лавинообразного вовлечения подсистем в состояние отказа, в принципе, не вызывает возражений.

Используя данные работы [1], вероятность развития аварии  $P_a$  можно представить как совмещение двух независимых событий:  $P_1$  и  $P_2$  – вероятности

подавления и активизации процесса развития аварийной ситуации соответственно:

$$P_a | P_1 | P_2.$$

Анализ работы современных горнодобывающих предприятий показывает, что резервы повышения эффективности подготовительных работ значительны. Эти резервы кроются в увеличении надежности, которая в настоящее время находится на низком уровне из-за значительных простоев забоев, вызванных несоответствием применяемых технологических схем и их параметров горно-геологическим условиям, внезапных прорывов подземных вод из зон обводненных тектонических нарушений в выработанное пространство, отсутствием достаточной увязки по основным и сопряженным с ними процессами, не совмещенностью выполнения во времени отдельных процессов и операций, и т.д. Устранение отмеченных недостатков позволит повысить эффективность подготовительных работ и производительность труда. Однако оно встречает известные затруднения в связи с неопределенностью и изменчивостью горно-геологических и горнотехнических условий даже при проходке одной выработки.

Под технологической схемой проходческих работ понимается комплекс рабочих процессов, взаимосвязанных горно-геологическими и горнотехническими условиями, такими, как обводненность пород, расположение забоя относительно пласта, способ проходки, мощность пласта и т.п., обеспечивающими при данных конкретных условиях максимальную эффективность по принятому критерию. Технологическая схема, характеризуя производственный процесс проходки, указывает на последовательность, организацию выполнения рабочих процессов и способов их осуществления.

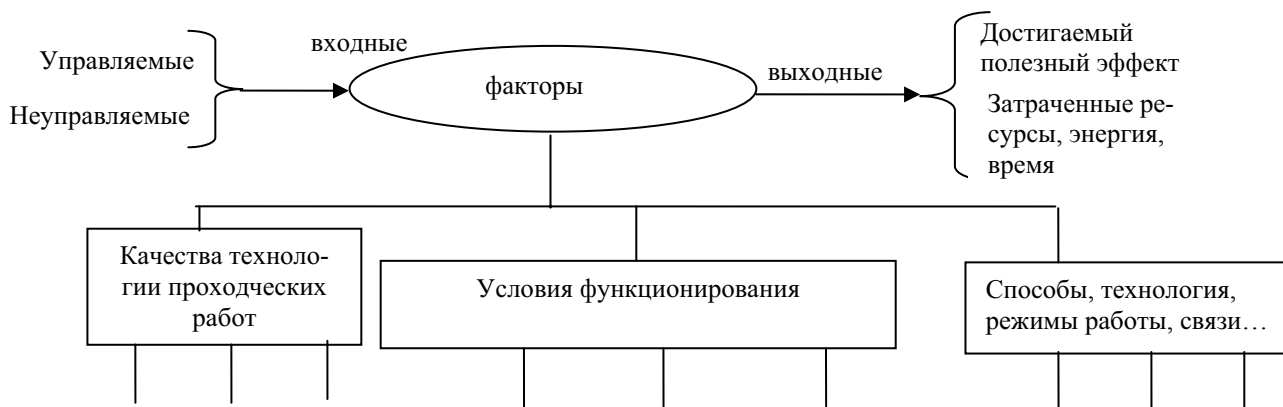


Рис. 1. Классификация факторов, определяющих эффективность функционирования проходческого забоя

**Основная часть.** Классификацию факторов, определяющих эффективность проходческих работ, удобно рассматривать по рис. 1. В соответствии с рис. 1, совокупность действий управляемых и неуправляемых факторов определяет достигаемый за счет функционирования проходческого забоя полез-

ный эффект, объем затраченных ресурсов, времени, энергии и т.п.

Непосредственно эффективность функционирования проходческого забоя зависит от качественных характеристик (например, тип комбайна), условий функционирования (физические свойства угольного

пласта и вмещающих пород, их обводненность, наличие нарушений и их амплитуда, глубина разработки и т.п.) и выбранной технологии ведения горных работ, их режимов, и т.п.

Пусть на некоторые показатели эффективности проходческого забоя:  $T$  (точность),  $H$  (надежность),  $\mathcal{E}$  (энергия) и  $C$  (стоимость) наложены ограничения, такие как функции времени:

$$\begin{aligned} C_{11}/t_0 \Omega T \Omega C_{12}/t_0, C_{21}/t_0 \Omega H \Omega C_{22}/t_0 \\ C_{31}/t_0 \Omega \mathcal{E} \Omega C_{32}/t_0, C_{41}/t_0 \Omega C \Omega C_{42}/t_0 \end{aligned} \quad (1)$$

При переходе системы из начального состояния в конечное, характеристики  $T$ ,  $H$ ,  $\mathcal{E}$  и  $C$  должны находиться в некоторой заданной области  $T$ , определяемой требованиями к проектируемой системе (1). Условия (1) могут нарушаться за счет выбора оператора системы  $A_i$  и действия возмущений  $\Theta$ .

Примем, что функция потерь  $W$  может иметь следующие значения:

$$W | \begin{cases} 0, & \text{при } \Gamma \subset \Omega, \\ 1, & \text{при } \Gamma \supset T \end{cases}$$

где  $\Gamma \subset T$  – иное обозначение условия (1), когда все показатели  $T$ ,  $H$ ,  $\mathcal{E}$  и  $C$  находятся в области  $T$ ;  $\Gamma \supset T$  – обозначение того, что любое из условий (1) нарушено.

Тогда критерий минимума риска можно записать в виде:

$$\min_A R | \min_A M/W \text{ €}$$

Функция потерь позволяет оценивать качество системы с учетом случайных возмущений. Действие случайных возмущений приводит к тому, что управляющее устройство „выносит решение в неопределенной ситуации“ [3] и, следовательно, возникают отклонения координат системы из требуемой области  $T_{mp.}$ , которая, в общем случае, является некоторой функцией времени:

$$T_{mp.} | T/t_0.$$

Эти отклонения называют отклонениями системы от состояния работы в безаварийном режиме.

Таким образом, функция потерь  $W$  может быть представлена в общем виде некоторой функцией от координат системы в заданной области:

$$W | Y, T_{mp.} \text{ €} \quad (2)$$

где под  $Y$  подразумевают обобщенный вектор выходных координат и состояния системы.

Функция потерь, в общем случае, является средством формирования универсального критерия,

так как целесообразные критерии качества могут быть представлены в форме условия минимума среднего риска:

$$\min R | \min M'' W(Y, Y^1) \text{ €}$$

Представим схему исследования системы следующим образом (рис. 2):

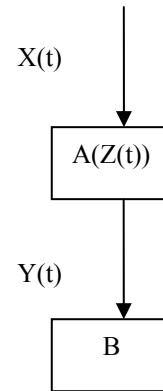


Рис. 2. Исследуемая система с оператором функции потерь:  $A$  – оператор проектируемой системы, включающий объект и регулятор;  $X(t)$  – вектор входного воздействия;  $Y(t)$  – вектор выходных координат системы;  $Z(t)$  – вектор состояния;  $B$  – оператор функции потерь  $W$

Потери  $W$ , связанные с переходом системы из начального состояния  $Y/t_0$  в конечное  $Y/t_k$ , можно выразить с помощью оператора  $B$  через известные статистические характеристики векторов:

$$X/t_0, t_k \quad Y/t_0, t_k$$

и заданный оператор системы  $A_i$ :

$$W | W_1/A_i, Y, X, Z, t_0, t_k.$$

Представим случайные функции  $X/t_0, Z/t_0$  в виде:

$$X/t_0 | X/\Theta_1, t_0,$$

где  $\Theta_1 - r_1$ - мерный вектор случайных величин.

Тогда, после подстановки, с учетом того, что:

$$Y/t_0 | f/A_i, X, Z, t_0,$$

имеем:

$$W | W_2/A_i, \Theta_2, t_0, t_k \quad (2)$$

где  $\Theta_2 - m$ -мерный вектор случайных величин

$$(m | r_1 \ 2 \ r_2).$$

Из выражения (2) следует, что каждому значению случайного вектора  $\Theta$ , равному  $\sigma_1, \dots, \sigma_l$ , соответствуют определенные значения функции потерь:

$$\begin{cases} W_1 | W_2 / A_i, \sigma_1, t_0, t_k \\ W_l | W_2 / A_i, \sigma_l, t_0, t_k \end{cases}$$

Тогда средний риск возникновения аварийной ситуации:

$$R | \int_{\zeta, \dots, \zeta} W_2 / A_i, \zeta, t_0, t_k \cdot f(\zeta) d\zeta_1, \dots, d\zeta_m$$

Задавая различными операторами системы  $A_i; i | 1, 2, \dots, p$ , путем сравнения значений риска  $R_1, \dots, R_p$ , можно выбирать наименьшие из них:

$$R_r | \int_{\zeta, \dots, \zeta} W_2 / A_r, \zeta, t_0, t_k \cdot f(\zeta) d\zeta_1, \dots, d\zeta_m$$

где  $R_r \{ R_1, \dots, R_{r41}, R_{r21}, \dots, R_p \}$ .

Можно поставить задачу выбора оптимальных параметров  $K$  оператора  $A_i$ , то есть решать задачу получения системы оптимальной структуры:

$$\min R | \min_{K} \int_{\zeta, \dots, \zeta} W_2 / A_i, \zeta, t_0, t_k \cdot f(\zeta) d\zeta_1, \dots, d\zeta_m$$

Наиболее общей задачей является задача нахождения оптимального оператора  $A_{opt}$ , обеспечивающего экстремум функции риска:

$$\text{extr } R | \int_{\zeta, \dots, \zeta} W_2 / A_{opt}, \zeta, t_0, t_k \cdot f(\zeta) d\zeta_1, \dots, d\zeta_m$$

Комбинированное обслуживание, очевидно, является наиболее приемлемым для случая ведения проходческих работ. Произведем оценку эффективности различных способов обеспечения надежности функционирования подготовительной выработки в предположении, что её техническое обслуживание (ТО) является комбинированным и обладает следующими свойствами:

1. Через промежутки времени  $T_n$  за время  $t_p$  производится периодическое ТО всех подсистем подготовительной выработки ( $T_n$  – время между двумя соседними ТО).

2. В процессе контроля проверяется исправность части подсистем таким образом, что контролем охватывается поток отказов  $\Theta_1 | \in \Theta$  при общем потоке отказов подготовительной выработки, равном  $\Theta$ .

3. При обнаружении отказов контролируемых подсистем и их элементов, принимаются меры по восстановлению их работоспособности. Интенсивность восстановления работоспособности подготовительной выработки равна  $\sigma$ .

Под ТО в данном случае будем понимать, в первую очередь, осуществление мероприятий по ликвидации аварийных прорывов воды в выработку, ГДЯ, вывалы, обрушения и т.п.

В работе [4] для этого случая получено выражение для показателя оперативной готовности:

$$K_{z.on} | \frac{1}{T_p} \frac{\int_0^{T_n} \sigma_1^4 e^{-\lambda t} dt}{\int_0^{T_n} \sigma_1^4 e^{-\lambda t} dt + \int_0^{T_n} \sigma_2^4 e^{-\lambda t} dt} \cdot \frac{1}{\int_0^{T_n} \sigma_1^4 e^{-\lambda t} dt + \int_0^{T_n} \sigma_2^4 e^{-\lambda t} dt} \cdot T_n \quad (3)$$

где  $\in$  – объем контроля исправности системы.

При  $\in | 0$  выражение (3) будет выражением для показателя оперативной готовности периодически обслуживаемой системы. При  $\in | 1$  проведение периодического обслуживания нецелесообразно. Тогда время  $T_n$  может быть принято равным времени эксплуатации и выражение (3) будет задавать показатель оперативной готовности системы со случайным периодом обслуживания.

Из анализа показателя оперативной готовности системы с комбинированным ТО следует, что функция  $K_{z.on}$ , задаваемая соотношением (3), имеет максимум по параметру  $T_n$  (интервал между двумя ТО), значение которого, в соответствии с результатами работы [4], в приближенном виде определяется:

$$T_n | 4 \frac{t_p}{2} \sqrt{\frac{t_p^2}{2} \frac{t_p}{14 \sigma_1 \sigma_2} \frac{1}{\sigma_1^4 \sigma_2^4}} \quad (4)$$

Отсюда следует, что интервал между двумя ТО (т.е. время надежной, безаварийной работы подготовительной выработки) выражается соотношением (4). Последнее соотношение является количественной оценкой эффективности ведения проходческих работ.

**Выводы:**

– Комбинированное обслуживание является наиболее целесообразным вариантом технического обслуживания при эксплуатации подготовительной выработки.

– Получено аналитическое выражение для количественной оценки эффективности ведения проходческих работ.

**Список литературы**

1. Мясников А.А., Павлов А.Ф., Бонецкий В.А. Повышение эффективности и безопасности горных работ. – М.: Недра, 1979. – 216 с.  
 2. Воробьев В.М., Бурчаков А.С., Шибяев Е.В. Надежность технологических схем и процессов угольных шахт. – М.: Недра, 1975. – 237 с.  
 3. Букатова И.Л., Шаров А.М., Михасев Ю.И. Эволюционная информатика: Теория и практика эволюционного моделирования – М.: Наука, 1991. – 206 с.  
 4. Червоный А.А., Лукьященко В.И. Надежность сложных систем. – 2-е изд, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 288 с.

Наведено результати аналітичних досліджень ефективності технологічного процесу проходки гірничих виробок в умовах тектонічно порушених обводнених гірських порід. Показано, що комбіноване обслуговування є найбільш прийнятним варіантом технічного обслуговування підготовчої виробки. Отримано аналітичний вираз для оцінки ефективності ведення прохідницьких робіт.

**Ключові слова:** ефективність, оптимізація, прохідницькі роботи, аварійна ситуація, технічне обслуговування, надійність

The article describes the results of analytical treatment of efficiency of technological process of drive working in conditions of watered tectonic broken rocks. It has been adduced that combined service is the most acceptable variant of technical service for preparatory working. Analytical expression for estimation of preparatory works efficiency has been got.

**Keywords:** efficiency, optimization, drilling works, emergency situation, technical service, reliability

Рекомендовано до публікації д.т.н. С.К. Мецаніновим 15.04.10

## Національний гірничий університет пропонує інноваційний проект

### ЕКОЛОГІЧНО ОЩАДЛИВА ТЕХНОЛОГІЯ ВИДОБУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З НЕГЛИБОКИХ ВОДОЙМИЩ

**Автори:** Симоненко В.І., д-р техн. наук, проф., Бондаренко А.О., канд. техн. наук, доц., Запара Є.С., канд. техн. наук, доц.

**Спрямованість проекту:** розробка екологічно ощадливої технології видобування будівельних матеріалів із підводних та обводнених родовищ.

**Сфера застосування:** на території України в умовах підводного залягання на незначних глибинах розташовані значні поклади пісків, які можуть бути використані в будівництві, металургії, при виготовленні будівельних матеріалів та інших галузях промисловості. Розробка таких родовищ може бути економічно привабливою при застосуванні нової нетрадиційної видобувної техніки та зумовленої нею технології видобутку. При підводному видобуванні корисних копалин також гостро постає питання екологічної безпеки виконання робіт.

**Короткий опис:** розроблена нетрадиційна технологія екологічно ощадливого видобування незв'язних пісків із дна неглибоких водоймищ. Мінімізація впливу видобувних робіт на навколишнє середовище зумовлена використанням ґрунтозабірного пристрою, конструкція якого передбачає видобування ґрунту з-під поверхні дна. Використання такого принципу розробки дозволяє підвищити продуктивність видобування ґрунту за рахунок збільшення концентрації водогрунтової суміші, та мінімізувати негативний вплив видобувних робіт на довкілля у зв'язку зі значним зменшенням скаламучення водойми у місці забору ґрунту та збереженням поверхневого шару дна.

**Основні техніко-економічні характеристики:** при використанні електричного приводу для забезпечення роботи видобувної установки цехова собівартість 1 м<sup>3</sup> видобутого піску знаходиться в межах 2...3 грн (до 0,6 \$).

**Вплив на навколишнє середовище:** при видобутку ґрунтів за екологічно ощадливою технологією, у порівнянні з традиційними способами гідромеханізації, прозорість води у зоні видобувних робіт більша у 6 разів, кількість фітопланктону більше у 2,5...3 рази, обсяг донної фауни зберігається на рівні 90...95% від початкового.

**Вартість:** вартість розробки робочого проекту складає 120 тис. грн.

**Термін реалізації та окупності:** термін складання робочого проекту відповідно до конкретних умов залягання корисної копалини – 5 міс. Термін окупності залежить від попиту на продукцію.

**Контакти:** тел.: +38(0562)46-90-00, факс: +38(0562)47-45-53, e-mail: Bondarenkoa@nmu.org.ua