

го конвейера линейно зависит от производительности  $Q$  и процентного содержания фракций  $P_i$  и нелинейно зависит от массы и размеров кусков  $m_i$ ,  $a_{ci}$  соответственно, от натяжения ленты  $S$ , жесткости роликоопор и расстояния между ними  $c$  и  $l_p$  соответственно и скорости ленты конвейера  $v_d$ . В то же время математическое ожидание, в отличие от дисперсии и корреляционной функции, линейно зависит от массы крупных кусков груза  $m_i$  и средней погонной массы мелкокускового груза  $m_Q$ .

3. Полученные результаты исследования дают возможность в зависимости от параметров конвейера, роликоопор, величины грузопотока и его грансостава определить надежность става ленточного конвейера, в частности роликоопор и роликов, выработать технические решения по увеличению их надежности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монастырский, В.Ф. О силе динамического взаимодействия потока крупнокускового груза с роликоопорами ленточного конвейера / В.Ф. Монастырский, Г.К. Демин // Динамика и прочность горных машин. - 1975. - № 3. - С. 112-118.
2. Дьяков, В.А. Аналитическое описание грузопотока скального крупнокускового груза / В.А. Дьяков // Шахтный и карьерный транспорт. - М.: Недра, 1977. - Вып. 3. - С. 57-60.
3. Приседский, Г.В. Формирование выходных нагрузок в элементах ленточных конвейеров / Г.В. Приседский, Н.П. Дорошенко, В.П. Серый, И.И. Маренко // Шахтный и карьерный транспорт. - М.: Недра, 1977. - Вып. 3. - С. 11-18.
4. Барон, Л.И. Кусковатость и методы ее измерения / Л.И. Барон. - М.: Из-во АН СССР, 1960. - 124 с.
5. Новиков, Е.Е. Теория ленточных конвейеров для крупнокусковых горных пород / Е.Е. Новиков, В.К. Смирнов. - Киев: Наук. думка, 1983. - 181 с.
6. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерное приложение / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. - М.: Наука, 1981. - 384 с.
7. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. - М.: Наука, 1965. - 524 с.
8. Панкратов, С.А. Динамика машин открытых горных и земляных работ / С.А. Панкратов. - М. Машиностроение, 1976. - 447с.

**УДК 622.647.2:681.5**

Канд. техн. наук Т.И. Жигула,  
канд. техн. наук Л.П. Ладутина,  
канд. техн. наук В.Ю. Максютенко  
(ИГТМ НАН Украины)

#### **МОДЕЛИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПУСКОМ И ТОРМОЖЕНИЕМ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛИНИИ**

Розглянуто варіанти адаптивного управління динамічними процесами механічних систем і на їх основі розроблено структури алгоритмів адаптивного управління пуском і гальмуванням конвеєрної лінії із змінним вантажопотоком.

#### **ADAPTIVE CASE FRAMES BY STARTING AND BRAKING OF CONVEYER LINE**

The variants of adaptive dynamic process control of the mechanical systems are considered and on their basis the structures of algorithms of adaptive control by starting and braking of conveyer line with a changing goods traffic are developed.

На шахтах со сплошной конвейеризацией цепочка конвейеров может представлять собой систему из нескольких десятков установок, в которую включены как горизонтальные, так и наклонные ленточные конвейеры, нередко с различной скоростью движения ленты. Управление пуском и торможением такой системы, а в особенности аварийным торможением, является сложной задачей.

В современной научной литературе практически нет работ, посвященных управлению пусковыми и тормозными режимами конвейерных линий. Мощные ленточные конвейеры, входящие в линию, имеют различную длину и другие параметры, кроме того, поступающий грузопоток постоянно меняется. Поэтому каждый конвейер имеет свои время пуска и торможения, которые также меняются в зависимости от грузопотока. При экстренном торможении линии в местах сопряжения конвейеров может возникнуть аварийная ситуация – завал перегрузочного устройства и последующего конвейера. В статье Н.С. Полякова, Е.М. Высочина и В.К. Смирнова предложено при экстренном торможении конвейерной линии тормозить все конвейеры одновременно с одинаковым временем останова [1]. Авторы статьи отмечают, что «решение такой задачи возможно лишь при полной автоматизации торможения системы конвейеров с применением вычислительной техники для обработки всей информации, поступающей от различных конвейеров». Во время написания статьи (1967 год) уровень вычислительной техники не позволял осуществить решение этой задачи, и она осталась нерешенной до настоящего времени.

Для разработки системы управления пуском и торможением конвейерной линии с постоянно меняющимся грузопотоком может быть применен адаптивный подход, а именно – изменение управляющих воздействий на основе текущей информации с целью достижения определенного, обычно оптимального, состояния системы при начальной неопределенности и изменяющихся условиях работы.

Адаптивное управление динамическими процессами функционирования конвейеров удобно осуществлять посредством самонастраивающихся адаптивных систем (СНС), у которых адаптация обеспечивается путем изменения параметров управляющего устройства. Такие системы имеют специальные контуры самонастройки, с помощью которых оцениваются динамические и статические свойства системы и формируются контролирующие воздействия, при которых система самопроизвольно приближается к заданному критерию качества функционирования. При этом контур самонастройки служит для изменения параметров управляющего устройства.

Эти изменения выполняются на основании поиска значений параметров, при которых качество управления соответствует нужному значению, или аналитического расчета нужных значений параметров. В соответствии с этим СНС являются либо поисковыми, либо аналитическими (беспоисковыми). При использовании обоих приемов одновременно управляемые системы называются комбинированными.

Поисковая система адаптации является весьма сложной, т.к. предполагает идентификацию объекта управления, в процессе которой определяются показатели качества. Затем эти показатели оцениваются адаптером по текущим значениям

параметров объекта управления. При отклонении значения выбранного показателя качества от требуемого значения адаптер выдает управляющее воздействие на блок настройки, который осуществляет настройку привода.

Второй вариант – это упрощенная беспоисковая адаптивная система управления, из которой исключен алгоритм изучения объекта, т.е. его идентификация, и используется эталонная модель.

В блоке эталонной модели заложена математическая модель объекта с выбранными в качестве эталона численными значениями его параметров. Сам объект представляет собой механическую систему (или управляемый процесс), на которую усилием  $U_0$  воздействует подстраиваемый привод. По полученным с датчиков обратной связи значениям выходных переменных  $Y$  определяется разность  $\Delta Y = Y_0 - Y$ , соответствующая отклонению объекта от его эталонной модели. Эта разность подается в устройство управления для изменения настройки привода, устраняющего  $\Delta Y$ .

Одним из вариантов адаптивного управления является также беспрограммное управление объектом в реальном времени только по текущей сенсорной информации о внешнем воздействии на объект. В качестве примера можно привести управление рабочей скоростью привода конвейера, в зависимости от изменяющегося грузопотока.

При разработке структур алгоритмов адаптивного управления динамическими процессами конвейеров в составе конвейерных линий используются перечисленные варианты адаптации и их комбинации в сочетании с программным управлением. Эти алгоритмы можно синтезировать на основе разработанных ранее [2] алгоритмов программного управления отдельными конвейерами с применением принципов адаптивного управления, в частности, на основе алгоритма оптимального управления электроприводом конвейера, представляющего собой схему программного управления приводом на протяжении всего цикла его работы (пуск, установившееся движение, торможение). Указанный алгоритм содержит элементы адаптации, а именно:

- осуществляет выбор управляющей программы из готового набора программ пуска-торможения привода на основе текущей сенсорной информации о нагрузке конвейера;

- осуществляет беспрограммное управление установившейся скоростью привода в реальном времени только на основе сенсорной информации о нагрузке конвейера.

При управлении пусковым режимом цель управления формулируется так: с момента запуска ( $t = 0, V = 0$ ) конвейерная лента должна набрать заданную скорость  $V_n$  за минимальное время  $T_n$  с минимальными потерями электроэнергии  $\Delta w$ , кроме того должно выполняться ограничение по коэффициенту динамичности  $K_\partial$ :

$$T_n = J \int_0^{\omega_0} \frac{d\omega}{M} \rightarrow \min ; \quad (1)$$

$$\Delta w = \int_0^{T_n} M\omega_0 s dt \rightarrow \min ; \quad (2)$$

$$K_\partial = \frac{W_{\text{дин.нб.}}}{W_{\text{ст.нб.}}} \leq K_{\partial.\partial\text{оп}}, \quad (3)$$

где  $J$  – суммарный момент инерции привода, Н·м;  $W_{\text{дин.нб.}}$ ,  $W_{\text{ст. нб.}}$  – динамическое и статическое натяжение ленты в точке набегания на приводной барабан, Н;  $s$  – скольжение двигателя.

При выборе оптимальной пусковой характеристики электродвигателя необходимо учесть также еще ряд ограничений: по ускорению ленты, по условию прочности ленты, по условию сцепления с приводным барабаном, по условию непровисания ленты.

Задача оптимального управления пуском ленточного конвейера формулируется так: определить управление  $F(V)$ , удовлетворяющее вышеперечисленным ограничениям и переводящее конвейер из состояния  $V(0) = V_0$  в состояние  $V(T_n) = V_n$  так, чтобы минимизировать функционалы качества (1) и (2).

Если нам известны явные выражения функционалов и ограничений, то для решения задачи могут быть применены обычные методы – аналитические или алгоритмические. Если функционал явно неизвестен, то обычные подходы непосредственно неприменимы, и для устранения неопределенности, вызванной малым объемом априорной информации, следует использовать адаптивный подход. Наиболее характерная черта адаптации состоит в накоплении и немедленном использовании текущей информации для устранения неопределенности из-за недостаточной априорной информации с целью оптимизации избранного показателя качества.

Для задачи оптимизации пуска конвейера адаптивный подход будет заключаться в немедленном использовании информации об изменяющихся значениях поступающего грузопотока при определении управления  $F(V)$ .

Все вышеизложенное относится к пуску отдельного конвейера в линии. Пуск всей конвейерной линии может быть осуществлен в последовательном режиме, т.е. одного конвейера за другим, а сигналом к началу пуска каждого последующего конвейера является достижение стационарной скорости движения предыдущим.

Задачу адаптивного управления пуском ленточного конвейера в составе конвейерной линии сформулируем следующим образом: определить управление  $F(V)$ , удовлетворяющее заданным ограничениям (по коэффициенту динамичности и амплитудам продольных и поперечных колебаний ленты в точке набегания на приводной барабан, по условию сцепления с приводным барабаном, по условию непровисания ленты) и обеспечивающее начало пуска в момент достижения предыдущим конвейером рабочей скорости  $V_n$ , а также время

пуска  $T_n$  и потери электроэнергии  $\Delta W$ , не превышающие заданных значений  $T_{n3}$  и  $\Delta W_3$  ( $T_n \leq T_{n3}$ ,  $\Delta W \leq \Delta W_3$ ).

Структуру алгоритма адаптивного управления для этого случая целесообразно разработать с идентификацией параметров конвейера и стабилизацией показателей качества.

На рис. 1 приведена структура алгоритма адаптивного управления пуском ленточного конвейера в составе конвейерной линии.

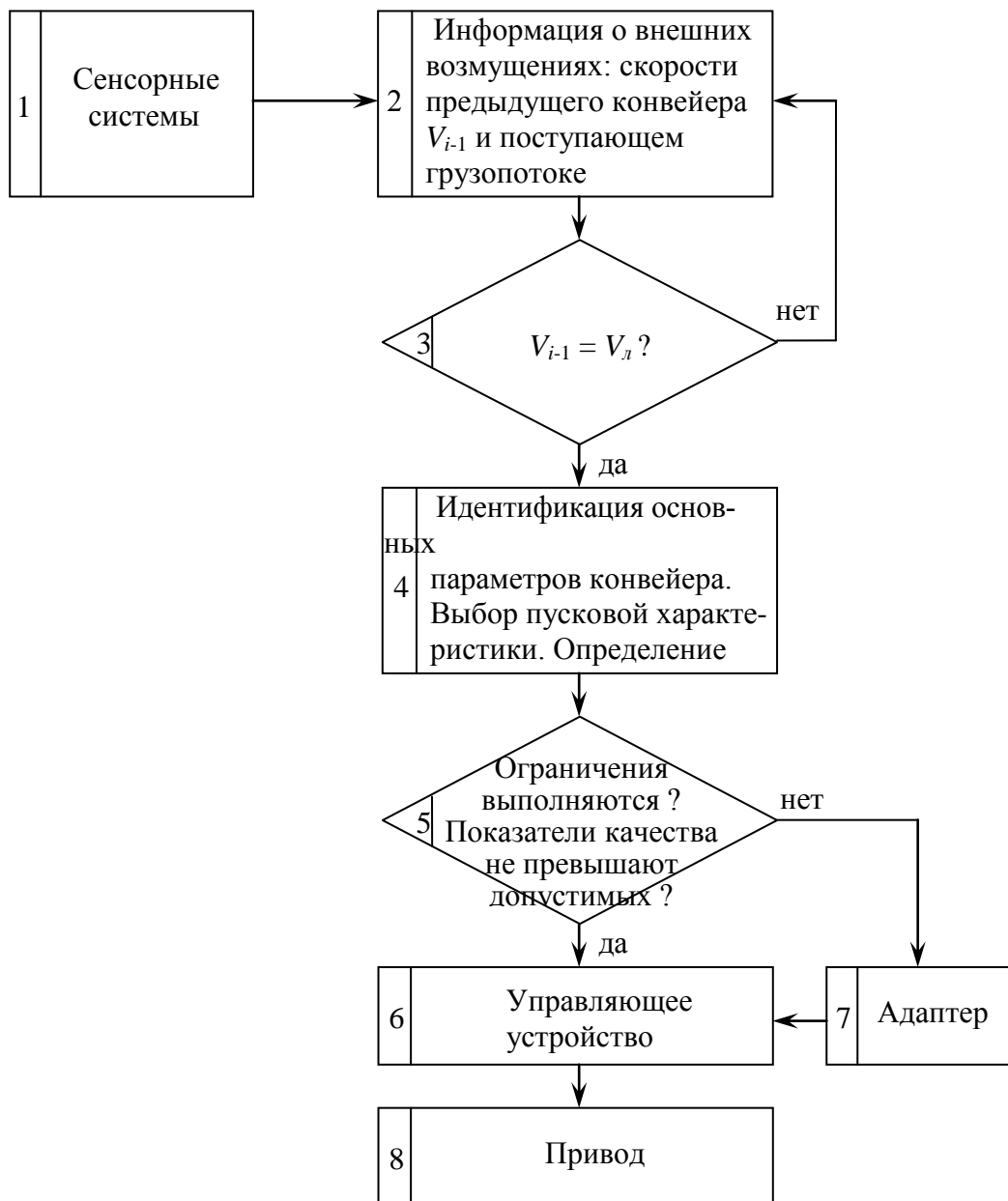


Рис. 1 – Структура алгоритма адаптивного управления пуском ленточного конвейера в составе конвейерной линии

Внешними возмущающими воздействиями в этом случае являются скорость предыдущего конвейера и поступающий грузопоток. Сенсорная информация о скорости предыдущего конвейера  $V_{i-1}$  непрерывно поступает на блок сравнения, как только ее величина достигает рабочей скорости ( $V_{i-1} = V_n$ ), начинается процесс пуска последующего конвейера. При этом по одновременно поступившей информации о нагрузке данного конвейера производится идентификация его основных параметров и выбор пусковой характеристики из набора, рассчитанных ранее. Затем определяются и оцениваются показатели качества и производится проверка выполнения заданных ограничений. Если показатели качества не превышают допустимых и ограничения выполняются, то информация о выбранной пусковой характеристике передается в управляющее устройство для осуществления управления приводом. Если же не выполняется хотя бы одно из ограничений или показатели качества превышают допустимые значения, то осуществляется адаптивная подстройка пусковой характеристики в функции от отклонения контролируемых показателей качества от требуемого значения. Затем скорректированная пусковая характеристика передается на управляющее устройство для управления пуском привода.

При управлении торможением отдельного конвейера цель управления формулируется так: конвейерная лента должна снизить скорость движения с текущего значения  $V_n$  до нуля за минимальное время  $T_T$ .

$$T_T = J \int_{\omega_0}^0 \frac{d\omega}{M} \rightarrow \min .$$

Кроме того, указанная цель должна быть реализована с минимальным коэффициентом динамичности  $K_D$  и минимальными потерями электроэнергии, а также для ленты должны выполняться те же ограничения, что и при пуске конвейера (по ускорению, по прочности, по сцеплению с приводным барабаном, по условию непровисания).

Так же, как и пуск, торможение конвейерной линии может осуществляться в последовательном режиме, т.е. одного конвейера за другим. При этом структура алгоритма адаптивного управления торможением конвейера в линии та же, что и для пуска.

При возникновении аварийных ситуаций возникает необходимость затормозить все конвейеры одновременно. При этом, во избежание завалов пунктов перегрузки, все конвейеры линии должны иметь одинаковое время останова. Режим торможения каждого конвейера зависит от его нагрузки и от того, как он установлен (вверх под углом, горизонтально, с наклоном до  $1...3^\circ$  вниз). В наиболее неблагоприятных условиях находятся конвейеры, наклоненные вниз.

Задачу адаптивного управления аварийным торможением конвейерной линии сформулируем следующим образом: определить управление  $F_i(V_i)$  для каждого  $i$ -го конвейера в линии, обеспечивающее начало торможения всех конвей-

еров в момент поступления сигнала об аварийном торможении и их одновременный останов.

Специфическими требованиями к системе адаптивного управления аварийным торможением конвейерной линии являются быстроедействие и одновременная корректировка качества управления несколькими приводами. В этом случае наиболее приемлема схема адаптивного управления с эталонной моделью (рис. 2).

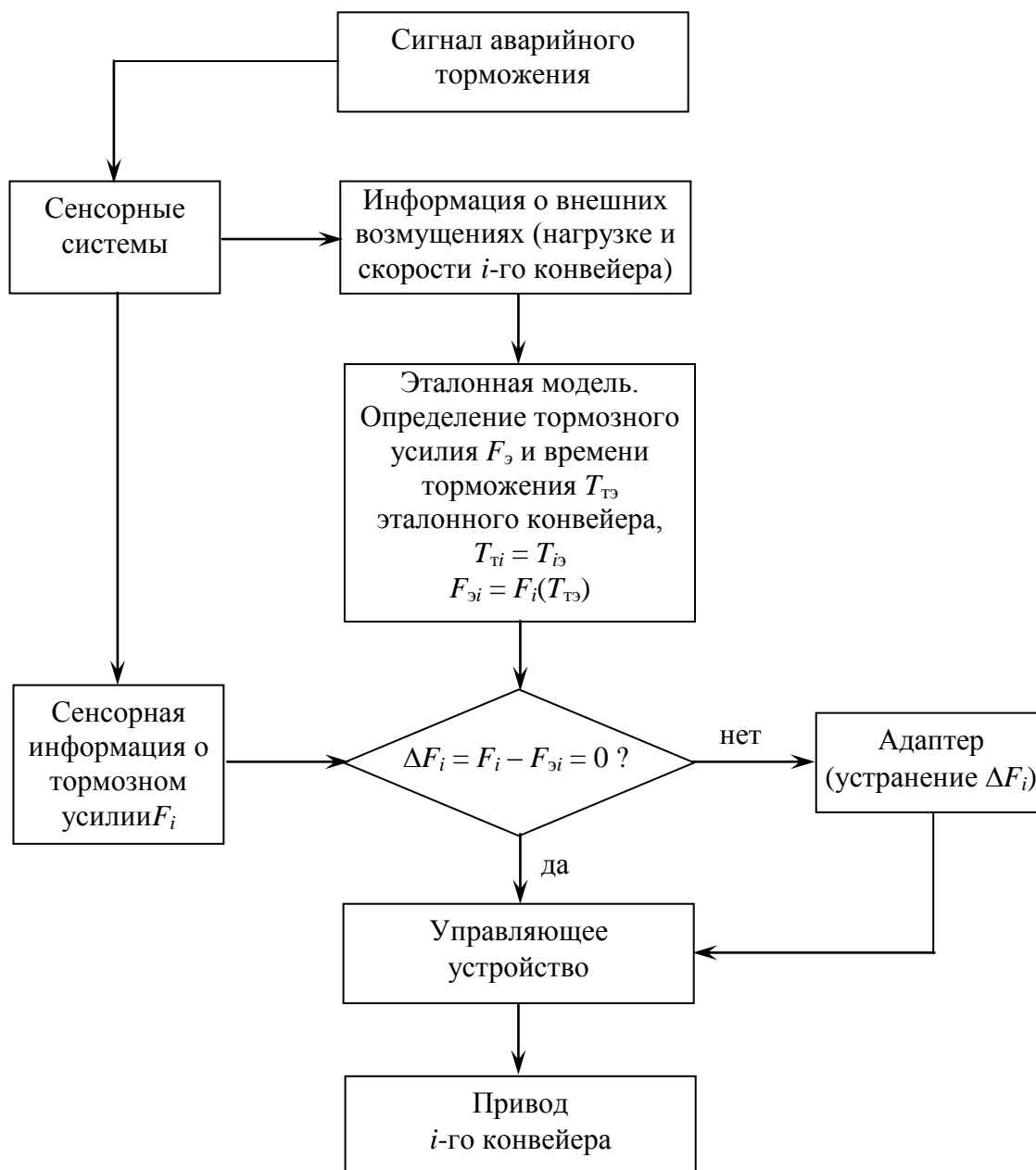


Рис. 2 – Структура алгоритма адаптивного управления аварийным торможением ленточного конвейера в составе конвейерной линии

В качестве эталона принят конвейер с наиболее сложным режимом торможения – самый мощный конвейер в линии с наклоном вниз. В блоке «эталонная модель» заложены математические модели для определения тормозного усилия и времени торможения каждого конвейера линии. По сигналу аварийного торможения в блок эталонной модели поступает сенсорная информация о внешних возмущающих воздействиях: нагрузке и скорости движения каждого конвейера. Для эталонного конвейера рассчитывается тормозное усилие и соответствующее ему время торможения  $T_{тэ}$ , для всех остальных конвейеров время торможения принимаются равным эталонному  $T_{ти} = T_{тэ}$  и рассчитываются тормозные усилия  $F_{эi}$ , обеспечивающие останов каждого конвейера за время  $T_{тэ}$ . По полученным с датчиков обратной связи значениям тормозных усилий  $F_i$  определяется разность  $\Delta F_i = F_i - F_{эi}$ , соответствующая отклонению объекта от его эталонной модели. Эта разность подается в адаптер для изменения управления привода, устраняющего  $\Delta F$ .

Предложенные выше алгоритмы адаптивного управления пуском и торможением ленточных конвейеров в составе конвейерной линии могут быть использованы при разработке автоматической системы адаптивного управления конвейерными линиями, реализация которой возможна благодаря современному уровню развития компьютерной и сенсорной техники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков. Н.С. Тормозные режимы работы ленточных конвейеров / Н.С. Поляков, Е.М. Высочин, В.К. Смирнов // Вопросы рудничного транспорта. - М.: Недр, 1967. - Вып. 10. - С. 3-18.
2. Жигула. Т.И. Алгоритм компьютерной реализации оптимального автоматического управления режимами работы ленточного конвейера / Т.И. Жигула, Л.П. Ладутина, В.Ю. Максютенко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. - Днепропетровск, 2007 – № 70. - С. 114-121.

**УДК 622.235**

Канд. техн. наук В.В. Круковская  
(ИГТМ НАН Украины)

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЯЗАННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОХОДКЕ ВЫРАБОТКИ С АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ БУРОВЗРЫВНЫМ СПОСОБОМ**

Виконано аналіз зв'язаних процесів, що відбуваються у пористому шаруватому вуглепородному масиві при проведенні виробки з анкерним кріпленням у викидонебезпечних умовах буровибуховим способом. Наведено розподіл параметрів напруженого стану газонасиченого гірського масиву навколо вибою гірничої виробки до, у момент та після підривання шпурових зарядів.

#### **MODELLING OF THE COUPLED PROCESSES AT ROADHEADING WITH BOLTING BY BLAST-HOLE DRILLING**

The analysis of coupled processes in porous layered coal- rock massif at road heading with roof bolting by blast-hole drilling is executed. Parameterization of stress state of the gas-saturated rock massif around mine working before, during and after blasting of blast-hole charges is shown in this article.