

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРАСНОАРМІЙСЬКИЙ ІНДУСТРІАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ  
ДЕРЖАВНОГО ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

**СУЧАСНІ АСПЕКТИ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА  
АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГОЄМНИХ  
ВИРОБНИЦТВ**

**ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ  
II регіональної науково-практичної конференції**

**25 квітня 2013 р.**

**Красноармійськ – 2013**

Сучасні аспекти механізації та автоматизації енергоємних виробництв. Збірник матеріалів II регіональної науково-практичної конференції, Красноармійський індустріальний інститут ДВНЗ ДонНТУ, 25 квітня 2013 р. – Донецьк: ТОВ «Цифрова типографія», 2013. – 300 с.

У збірнику представлені праці учасників II регіональної науково-практичної конференції «Сучасні аспекти механізації та автоматизації енергоємних виробництв», яку провела кафедра «Електромеханіки і автоматики» Красноармійського індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ. Основні напрямки роботи конференції – гірнича механіка, електрообладнання та енергопостачання сучасних енергоємних виробництв; геометричне та комп'ютерне моделювання об'єктів, явищ, процесів і технологій; геомеханічні проблеми розробки корисних копалин та охорона праці; соціальні, економічні та організаційні аспекти життєдіяльності енергоємних виробництв.

*Редакційна колегія повідомляє, що автори публікацій несуть відповідальність за достовірність поданої інформації, зміст матеріалів, їх мовно-стилістичне оформлення.*

Шестаченко С.В.; Подгородецкий Н.С., к.т.н. (КИИ ДонНТУ) ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПОПУТНОЙ ДОБЫЧИ МЕТАНА НА ШАХТАХ ДОНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА .....	127
Шовкалюк Д.В., Шовкалюк Н.В.; Зиновьев С.Н., к.т.н. (КИИ ДонНТУ) ВОПРОСЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УГЛЕГОРСКОЙ ТЭС .....	130
V.G. Potapov, PhD, Professor, Y.N. Polezhaka, student (Donetsk National Technical University) ON THE RELIABILITY OF TUNNEL-SHEARER TYPE "Ural - 10KSA" .....	132
V.G. Potapov, Ph.D., professor, A.S. Zavorotinsky, student (Donetsk National Technical University) ON THE RELIABILITY CUTTER-LOADER UCD 200-250 .....	138

#### ГЕОМЕТРИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ, ЯВИЩ, ПРОЦЕСІВ І ТЕХНОЛОГІЙ

Гайдар О.Г., к.т.н.; Темнохунд Ю.В. (ДонНТУ) МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ .....	145
Гайдар О.Г., к.т.н.; Халецька О.О. (ДонНТУ) ЗВ'ЯЗОК ІНВЕРСІЇ З ГЕОМЕТРИЧНИМИ ПЕРЕТВОРЕННЯМИ .....	149
Гармаш Н.С., к.т.н. (ДонНТУ) ВЫЧИСЛЕНИЕ ДЛИН ОБРАЗУЮЩИХ ОТСЕКА ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ПАРАБОЛОИДА .....	155
Исаенков А.А., Исаенков К.А. (КИИ ДонНТУ) ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПАНИИ GEMCOM – ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ .....	157
Исаенков А.А., Исаенков К.А. (КИИ ДонНТУ) ВОЗМОЖНОСТИ GOOGLE SCHOLAR КАК НАУЧНОЙ ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ .....	160
Тахтаров Е.В., Винник Е.А.; Сынков В.Г., д.т.н. (КИИ ДонНТУ) МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ .....	166
Тахтаров Е.В., Шестаченко С.В., Кушнир У.Л.; Подгородецкий Н.С., к.т.н. (КИИ ДонНТУ) АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА УСКОРЕНИЙ, СКОРОСТЕЙ И УСИЛИЙ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ СРЕДСТВАМИ MATHCAD .....	169
Тишин Р.А. (МакНИИ); Попов А.А., Никифоров М.А., Сыроватченко В.А.; Гого В.Б., д.т.н. (КИИ ДонНТУ) ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛОКАЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА .....	173
Триллер Е.А. к.т.н.; Винник О.О., Шестаченко С.В. (КП ДонНТУ) АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ СТРУМИННОГО НАСОСУ В MathCad 14 .....	177
Трунов Д.Н. (ПСП "ШУ "Белозёрское" ООО "ДТЭК Добропольеуголь") АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ СИГНАТУРЫ ФАЙЛА, ЕГО ОСОБЕННОСТИ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ .....	179
Шестаченко С.В., Кушнир У.Л., Тахтаров Е.В.; Подгородецкий Н.С. к.т.н. (КИИ ДонНТУ) АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСЧЕТА РЕДУКТОРА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЕРА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ MathCad 14 .....	184

ТАХТАРОВ Е.В., ВИННИК Е.А.; СЫНКОВ В.Г., д.т.н. (КИИ ДонНТУ)  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ  
УСТАНОВКИ**

*Представлено алгоритм побудови математичної моделі процесу запобіжного гальмування шахтної підйомної машини. Отримані графіки залежності, які можна використовувати при дослідженні динамічних процесів при гальмуванні шахтних підйомних установок.*

Шахтная подъемная установка – основной транспортный комплекс, который связывает подземную часть шахты с поверхностью, предназначена для выдачи на поверхность полезных ископаемых и получаемых при проходке горных выработок породы, спуска и подъема людей, транспортирования горношахтного оборудования и материалов, а также осмотра армировки и крепления ствола [1].

В процессе управления подъемной машиной в ряде случаев обходимо подтормаживание ее механическим тормозом, а во время пауз между подъемами тормоза удерживают от вращения органы навивки канатов. В аварийных случаях машина должна быть быстро остановлена тормозом с одновременным автоматическим отключением подъемного двигателя от сети.

Различают рабочее (маневровое) и предохранительное (аварийное) торможение. Последнее включается как машинистом, так и автоматически под действием предохранительных аппаратов.

Предохранительный тормоз срабатывает при опасном превышении скорости, переподъеме и для безопасной остановки машины в случае отключения двигателей.

При исследовании динамических процессов при торможении шахтных подъемных установок необходимо построение математической модели торможения шахтной подъемной установки.

Математические модели представляют собой формализованное представление системы с помощью абстрактного языка, с помощью математических соотношений, отражающих процесс функционирования системы. Для составления математических моделей можно использовать любые математические средства — алгебраическое, дифференциальное, интегральное исчисления, теорию множеств, теорию алгоритмов и т.д. По существу вся математика создана для составления и исследования моделей объектов и процессов.

К средствам абстрактного описания систем относятся также языки химических формул, схем, чертежей, карт, диаграмм и т.п. Выбор вида модели определяется особенностями изучаемой системы и целями моделирования, т.к. исследование модели позволяет получить ответы на определенную группу вопросов. Для получения другой информации может потребоваться модель другого вида. Математическое моделирование можно классифицировать на детерминированные и вероятностные, аналитические, численные и имитационные.

В настоящее время современные персональные компьютеры и математические программы (MathCad, MatLab и Maple) позволяют исследовать динамические процессы торможения шахтных подъемных машин, путем построения математической модели шахтной подъемной машины.

Реальная тормозная характеристика может отличаться от идеальной. Это отличие определяется типом и настройкой привода. В этом случае тормоз можно описать аперiodическим звеном первого порядка [5]:



$$\tau \cdot F_m' + F_m = F_{m_{max}} \quad (1)$$

где  $F_m$  – текущее значение тормозного усилия;

$F_{m_{max}}$  – максимальное значение тормозного усилия;

$\tau$  – постоянная времени тормоза.

Данное уравнение – линейное дифференциальное уравнение первого порядка. Его решение может быть записано в виде:

$$F_m = F_{m_{max}} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (2)$$

Промоделируем процесс предохранительного торможения в подъемной машине ЦШ 5×4 в период с установившимся тормозным усилием, при равномерном движении с максимальной скоростью в середине ствола. В этом периоде переходной процесс определяется начальными условиями предыдущего процесса и величиной максимального тормозного усилия и описывается системой дифференциальных уравнений:

$$D(r, v) = \begin{bmatrix} v_2 \\ \left[ \begin{array}{l} \frac{0,15}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F}{h_2 - v_2}} [m_{op} + m_k \cdot (h_2 - v_2) + m_k' \cdot (h_2 + h' + v_2)] \cdot (v_4 - v_2) \dots \\ \frac{0,15}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F}{h_2 - v_2}} [m_{op} + m_k \cdot (h_2 - v_2) + m_k' \cdot (H + h_2 + v_2)] \cdot (v_6 - v_2) \dots \\ + \frac{E \cdot F}{h_2 - v_2} \cdot (v_2 - v_1) + \frac{E \cdot F}{h_2 - v_2} \cdot (v_2 - v_1) - F_m(r) - F_m \\ v_2 \leq 0,0. \end{array} \right] \\ v_4 \\ \left[ \begin{array}{l} \frac{0,15}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F}{h_2 - v_2}} [m_{op} + m_k \cdot (h_2 - v_2) + m_k' \cdot (h_2 + h' + v_2)] \cdot (v_4 - v_2) \dots \\ + \frac{E \cdot F}{h_2 - v_2} \cdot (v_1 - v_2) - P_2 \\ m_{op} + m_k \cdot (h_2 - v_2) + m_k' \cdot (h_2 + h' + v_2) \end{array} \right] \\ v_6 \\ \left[ \begin{array}{l} \frac{0,15}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F}{h_2 - v_2}} [m_{op} + m_k \cdot (h_2 - v_2) + m_k' \cdot (H + h_2 + v_2)] \cdot (v_6 - v_2) \dots \\ + \frac{E \cdot F}{h_2 - v_2} \cdot (v_1 - v_2) - P_2 \\ m_{op} + m_k \cdot (h_2 - v_2) + m_k' \cdot (H + h_2 + v_2) \end{array} \right] \end{bmatrix} \quad (3)$$

На рис. 1 приведен фрагмент программы Mathcad с данными для расчета системы дифференциальных уравнений (3).

Система дифференциальных уравнений (3) решена в MathCad с использованием функции *rkfixed* (рис.2), которая реализует метод Рунге-Кутты четвертого порядка с постоянным шагом интегрирования

$$Z = rkfixed(x, L1, L2, m, D), \quad (4)$$

где  $x$  – вектор начальных условий;

$L1$  – начало интервала интегрирования;

$L2$  – конец интервала интегрирования;

$m$  – число шагов интегрирования;

$D$  – вектор производных в явном виде.

Данные для построения математической модели

Матрица начальных скоростей и перемещений  $t := 0, 1 \dots 15$  – задание времени процесса;  $\tau := 1.23$

$$v := \begin{pmatrix} 0 \\ v_m \\ 0 \\ v_m \\ 0 \\ v_m \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{Задание текущего положения гружёного и порожнего судов;} \\ h' := x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \\ \underline{\underline{h_k}} := H - h_n - h' \\ \underline{\underline{h_k}} := h_k + h' \end{array} +$$

Уравнение реальной тормозной характеристики.  
Здесь  $t=1.23$  сек – постоянная времени тормоза,  
определённая из пробований ПБ ко времени нарастания тормозного усилия.

$$F_T(t) := \text{if } t < 0.3, 0, \left( \frac{M_{T3}}{R_n} \right) \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \cdot 9.81$$

Рисунок 1 – Фрагмент программы Mathcad с данными для расчета

$$\begin{array}{l} \underline{\underline{Z}} := \text{dfixed}(v, 0, 15, 1000, D) \quad j := 0.. 1000 \\ y^{(j)} := Z_{(j+1),5} \quad z^{(j)} := Z_{(j+1),7} \quad \underline{\underline{h}}^{(j)} := Z_{(j+1),3} \quad t^{(j)} := Z_{(j+1),1} \\ \underline{\underline{h}}^{(j)} := \frac{\left[ \frac{0.15}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F}{h_y - Z_{(j+1),4}} \cdot \left[ \frac{m_{cy} + m_k \cdot [h_y - Z_{(j+1),4}] \dots}{+ m_k' \cdot [h_n + h' + Z_{(j+1),4}]} \right]} \cdot [Z_{(j+1),3} - Z_{(j+1),5}] \dots \right.}{\left. + \frac{E \cdot F}{h_y - Z_{(j+1),4}} \cdot [Z_{(j+1),2} - Z_{(j+1),4}] - P_y} \cdot \frac{m_{cy} + m_k \cdot [h_y - Z_{(j+1),4}] + m_k' \cdot [h_n + h' + Z_{(j+1),4}]}{m_{cy} + m_k \cdot [h_y - Z_{(j+1),4}] + m_k' \cdot [h_n + h' + Z_{(j+1),4}]} \right.} \\ \underline{\underline{h}}^{(j)} := \frac{\left[ \frac{0.15}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F}{h_x + Z_{(j+1),4}} \cdot \left[ \frac{m_{cx} + m_k \cdot [h_x + Z_{(j+1),4}] \dots}{+ m_k' \cdot [H - h_x - Z_{(j+1),4}]} \right]} \cdot [Z_{(j+1),3} - Z_{(j+1),7}] \dots \right.}{\left. + \frac{E \cdot F}{h_x + Z_{(j+1),4}} \cdot [Z_{(j+1),2} - Z_{(j+1),6}] - P_z} \cdot \frac{m_{cx} + m_k \cdot [h_x + Z_{(j+1),4}] + m_k' \cdot [H - h_x - Z_{(j+1),4}]}{m_{cx} + m_k \cdot [h_x + Z_{(j+1),4}] + m_k' \cdot [H - h_x - Z_{(j+1),4}]} \right.} \\ x^{(j)} := \text{if } \left[ \begin{array}{l} \frac{0.15}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F}{h_y - Z_{(j+1),4}} \cdot \left[ \frac{m_{cy} + m_k \cdot [h_y - Z_{(j+1),4}] \dots}{+ m_k' \cdot [h_n + h' + Z_{(j+1),4}]} \right]} \cdot [Z_{(j+1),5} - Z_{(j+1),3}] \dots \\ + \frac{0.15}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F}{h_x + Z_{(j+1),4}} \cdot \left[ \frac{m_{cx} + m_k \cdot [h_x + Z_{(j+1),4}] \dots}{+ m_k' \cdot [H - h_x - Z_{(j+1),4}]} \right]} \cdot [Z_{(j+1),7} - Z_{(j+1),3}] \dots \\ + \frac{E \cdot F}{h_y - Z_{(j+1),4}} \cdot [Z_{(j+1),4} - Z_{(j+1),2}] + \frac{E \cdot F}{h_x + Z_{(j+1),4}} \cdot [Z_{(j+1),6} - Z_{(j+1),2}] \dots \\ + (-F_T(t^{(j)})) - F_{cT} \end{array} \right] \leq 0, 0, \frac{(-F_T(t^{(j)})) - F_{cT}}{m_x} \end{array}$$

Рисунок 2 – Фрагмент программы MathCad с использованием функции `rkfixed`

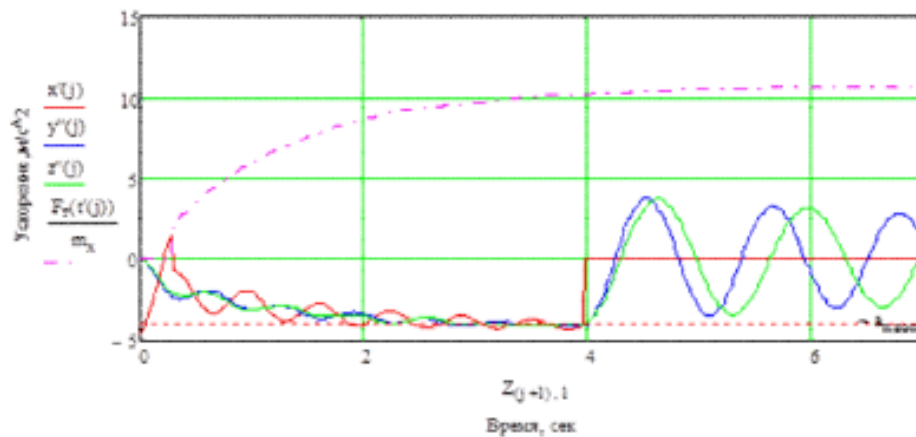


Рисунок 3 – Результаты моделирования процесса предохранительного торможения в подъемной машине ЦШ 5×4

Полученные характеристики достаточно точно характеризуют процесс предохранительного торможения (рис. 3), происходящий в реальной тормозной системе шахтной подъемной машины. Эти зависимости можно использовать при исследовании динамических процессов при торможении шахтных подъемных машин.

Анализируя результаты моделирования процесса предохранительного торможения в подъемной машине ЦШ 5×4 (рис. 3) можно сказать, что при приложении к шкиву трения воздействия тормоза в шахтной подъемной установке возникают колебания, формирующие значительные динамические нагрузки в канатах, подвесных устройствах, обечайках барабана и муфтах.

#### Литературные источники

1. Бежок В.Р. Шахтный подъем: Научно-производственное издание/ Бежок В.Р., Дворников В.И., Манец И.Г., Пристром В.А.; общ. ред. Б.А. Грядущий, В.А. Корсун. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд» 2007. – 624 с.
2. Белоборов В.И. Тормозные системы шахтных подъемных машин: Белоборов В.И., Абрамовский В.Ф., Самуся В.И.; АН УССР, Ин-т геотехн. механики. – Киев: Наукова думка 1990 г.
3. Плис А.И. Mathcad: математический практикум для экономистов и инженеров: Учеб. пособие/ Плис А.И., Сливина Н.А.; - М.: Финансы и статистика. 1999. – 656 с.
4. Кирьянов Д.В. Самоучитель Mathcad. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 560 с.
5. Степанов А.Г. Динамика шахтных подъемных установок. – Пермь: УрО РАН. 1994. – 203 с.