

УДК 622.232.7

О.Е. Шабаетв, канд. техн. наук, доц., **А.К. Семенченко**, д-р
техн. наук, проф., **А.И. Хиценко**, канд. техн. наук, доц.,
Е.Ю. Степаненко, асп.,
Донецкий национальный технический университет

АЛГОРИТМ САМООБУЧЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА

Обоснован вид регрессионных зависимостей удельных энергозатрат и коэффициента неравномерности момента сопротивления на валу двигателя исполнительного органа от режимных параметров разрушения и алгоритм самообучения интеллектуальной системы управления проходческого комбайна для адаптивной оптимизации цикла обработки при выборе оптимальных параметров режима разрушения забоя

мехатроника, выемочный комбайн, адаптивная оптимизация, самообучение, регрессионная зависимость, имитационное моделирование

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Одной из основных задач, стоящих перед угольной отраслью, является повышение технического уровня проходческих комбайнов (ПК), особенность эксплуатации которых заключается в разбросе прочностных характеристик разрушаемых пород даже в пределах одного забоя. В этих условиях оптимальный режим работы комбайна можно обеспечить за счет рационального нагружения его силовых систем на основе адаптивных алгоритмов управления рабочими процессами. При этом ПК должен оснащаться интеллектуальной системой управления, позволяющей выполнять прогноз требуемого изменения режимных параметров разрушения в той или иной части забоя для обеспечения адаптивной оптимизации процесса разрушения забоя исполнительным органом.

Анализ исследований и публикаций. Вопросам адаптивной оптимизации рабочих процессов ПК уделялось внимание в ряде работ [1-4]. Так, в работе [1] обоснованы задачи и критерии адаптивной оптимизации, по которым впоследствии разработаны методы ее реализации: адаптивная оптимизация цикла обработки и параметров режима разрушения забоя [2]; адаптивная оптимизация отработки управляющих воздействий [3]; адаптивная оптимизация перебора породы [4]. Методами имитационного моделирования показано, что применение этих разработок на практике позволяет получить существенное повышение ресурса элементов конструкции комбайна и обеспечить

повышение темпов проходки. Для реализации метода адаптивной оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя [2] ПК должен оснащаться интеллектуальной самообучающейся системой управления, которая путем натурального эксперимента в процессе самообучения комбайна в конкретном забое должна получить зависимости для прогнозирования величины удельных энергозатрат и коэффициента неравномерности момента сопротивления на валу двигателя от режимных параметров разрушения забоя.

Постановка задачи. Целью работы является разработка алгоритма самообучения интеллектуальной системы управления ПК для реализации метода адаптивной оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя.

Изложение материала и результаты. Обрабатываемый исполнительным органом (ИО) ПК забой, как правило, состоит из нескольких пластов с различными физико-механическими свойствами. Забой обрабатывается за несколько последовательных боковых и вертикальных резов с определенными режимными параметрами. К режимным параметрам относятся: подача ИО за один оборот коронки s_{ij} , м/об; глубина зарубки ИО в массив (выбирается постоянной в течение всего цикла обработки забоя) B , м; шаг фрезерования ΔH_j , м, где j - номер пласта; i – номер реза. Адаптивная оптимизация цикла обработки и параметров режима разрушения забоя предполагает определение значений указанных параметров, обеспечивающих в зависимости от принятого критерия максимальный темп проходки или максимальный ресурс комбайна [1, 2]. Для реализации адаптивной оптимизации необходимо экспериментальное получение зависимостей для определения удельных энергозатрат на разрушение и коэффициента неравномерности момента сопротивления на валу двигателя ИО ПК при различных параметрах режима его работы именно в том забое, в котором осуществляется эксплуатация. Указанные зависимости должны определяться системой интеллекта комбайна во время его наладки в конкретном забое на основе показаний датчиков (самообучение).

Таким образом, алгоритм самообучения интеллектуальной системы управления ПК для определения зависимостей удельных энергозатрат и коэффициента неравномерности момента сопротивления на валу двигателя ИО при различных параметрах режима разрушения состоит из следующих этапов:

1) определение количества и местоположения пластов пород, составляющих структуру забоя;

2) определение для каждого j -го пласта на основе показаний датчиков тока двигателя, положения исполнительного органа и крутящего момента значений удельных энергозатрат разрушения и коэффициента неравномерности момента сопротивления на валу двигателя ИО при различных режимных параметрах (см. табл. 1);

Таблица 1 – План вычислительного эксперимента

№ серии опытов	Режимные параметры			Боковой рез			Вертикальная зарубка			№ серии опытов	Режимные параметры			Боковой рез			Вертикальная зарубка										
	$B, м$	$\Delta H, м$	$s, м/об$	уголь	углецементный блок	блок сильвинита	порода	уголь	углецементный блок		блок сильвинита	порода	$B, м$	$\Delta H, м$	$s, м/об$	уголь	углецементный блок	блок сильвинита	порода	уголь	углецементный блок	блок сильвинита	порода				
1	0.1	0.1	0.025	x	x	x	x	x	x	x	x	3	0.4	0.1	0.025	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
			0.05	x	x	x	x	x	x	x	x				x	0.05	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
			0.1	x	x	x	x	x	x	x	x				x	0.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	0.2	0.2	0.025	x	x	x	x	x	x	x	x		4	0.8	0.2	0.025	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
			0.05	x	x	x	x	x	x	x	x					0.05	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
			0.1	x	x	x	x	x	x	x	x					x	0.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	0.3	0.3	0.025	x	x	x	x	x	x	x	x			4	0.8	0.3	0.025	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			0.05	x	x	x	x	x	x	x	x						0.05	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
			0.1	x	x	x	x	x	x	x	x						x	0.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	0.2	0.1	0.025	x	x	x	x	x	x	x	4	0.8			0.1	0.025	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
			0.05	x	x	x	x	x	x	x						x	0.05	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
			0.1	x	x	x	x	x	x	x						x	0.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	0.2	0.2	0.025	x	x	x	x	x	x	x		4	0.8		0.2	0.025	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
			0.05	x	x	x	x	x	x	x						x	0.05	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
			0.1	x	x	x	x	x	x	x						x	0.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
0.3	0.3	0.025	x	x	x	x	x	x	x	4	0.8		0.3	0.025	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
		0.05	x	x	x	x	x	x	x					x	0.05	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
		0.1	x	x	x	x	x	x	x					x	0.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x			

3) подбор коэффициентов уравнений регрессии удельных энергозатрат разрушения $W_j(B, \Delta H, s)$ и коэффициента неравномерности момента сопротивления на валу двигателя ИО $K_{Mj}(B, \Delta H, s)$ от режимных параметров для каждого j -го пласта.

Далее с использованием прогноза значений $W_j(B, \Delta H, s)$ и $K_{Mj}(B, \Delta H, s)$ для различных режимных параметров разрушения:

$B_{min} \leq B \leq B_{max}$, $\Delta H_{min} \leq \Delta H_j \leq \Delta H_{max}$, $s_{min} \leq s_{ij} \leq s_{max}$, выполняется адаптивная оптимизация цикла обработки и параметров режима разрушения забоя в соответствии с математическими моделями, приведенными в работе [2].

Для реализации алгоритма самообучения необходим выбор вида уравнения регрессии, которое с достаточной точностью описывает зависимости $W_j(B, \Delta H, s)$ и $K_{Mj}(B, \Delta H, s)$ при различных возможных физико-механических свойствах разрушаемых пород. С целью обоснования вида указанных зависимостей был проведен ряд модельных экспериментов (табл. 1) при различных значениях s , B и ΔH в режимах бокового реза и вертикальной зарубки. Зависимости для определения усилий резания принимались для угля и породы согласно соответствующим отраслевым стандартам [5, 6], а также экспериментально полученные для углицементного блока [7] и блока сальвинита [8].

На основе регрессионного анализа полученных результатов путем многовариантного поиска были получены зависимости для определения удельных энергозатрат и коэффициента неравномерности момента сопротивления на валу двигателя ИО от режимных параметров при разрушении j -го пласта:

$$W_j(B, \Delta H, s) = K_1 \cdot s^{K_2} \cdot \Delta H^{K_3} \cdot (B^{K_4 + K_5 \cdot s} + K_6) + K_7, \quad (1)$$

$$K_{Mj}(B, \Delta H, s) = k_1 \cdot s^{k_2} \cdot \Delta H^{k_3} \cdot (B^{k_4 + k_5 \cdot s} + k_6) + k_7, \quad (2)$$

В формулах (1), (2) приняты следующие условные обозначения: K_n и k_n - коэффициенты уравнений регрессии. Для исследуемых пород методом наименьших квадратов были получены значения коэффициентов K_n и k_n , приведенные в табл. 2. Анализ таблицы показал существенные расхождения значений коэффициентов для различных пород. Таким образом, эти значения должны подбираться только системой интеллекта машины для каждого j -го пласта конкретного забоя в процессе самообучения.

Для оценки адекватности предложенных зависимостей удельных энергозатрат и коэффициента неравномерности момента сопротивления на валу двигателя ИО от режимных параметров разрушения было проведено сравнение их значений, рассчитанных по зависимостям (1), (2), со значениями, полученными в ходе модельного эксперимента. Расхождение составляло не более 10 %. Регрессионные мо-

дели (1) и (2) адекватны по критерию Фишера с уровнем доверительной вероятности не менее 95% для четырех исследуемых пород (угля, углещементного блока, блока сильвинита и породы). Это дает основание предположить, что зависимости будут адекватны и для других пород при корректном подборе значений коэффициентов уравнений регрессии.

Таблица 2 – Значения коэффициентов уравнений регрессии

Коэффициенты уравнений регрессии		Боковой рез				Вертикальная зарубка			
		уголь	углещементный блок	блок сильвинита	порода	уголь	углещементный блок	блок сильвинита	порода
удельных энергозатрат, кВтч/м ³	K_1	1.488 *10 ⁻³	3.258 *10 ⁻⁴	1.773 *10 ⁻⁴	1.325 *10 ⁻³	1.259 *10 ⁻³	2.373 *10 ⁻³	1.806 *10 ⁻³	2.11 *10 ⁻³
	K_2	-0.32	-0.821	-0.969	-0.662	-0.77	-0.997	-0.995	-1.197
	K_3	-0.099	-0.265	-0.315	-0.203	0.08	0.151	0.15	0.128
	K_4	-1.314	-1.796	-1.487	-1.253	-1.19	-1.3	-1.274	-0.9
	K_5	-1.996	0.963	-0.237	-2.397	0.042	0.954	0.633	0.271
	K_6	222.265	228.262	139.493	96.283	31.88	21.279	19.601	6.352
	K_7	-0.305	0.896	1.099	0.359	0.186	1.186	1.123	0.788
коэффициента неравномерности	k_1	0.079	0.083	0.315	0.074	0.628	2.313	1.076	0.168
	k_2	-8.481 *10 ⁻³	0.069	2.496 *10 ⁻⁵	4.082 *10 ⁻³	-0.324	0.055	0.034	-0.737
	k_3	-0.624	-0.326	-0.276	-0.529	-0.38	-0.337	-0.358	-0.36
	k_4	-0.58	-0.852	-0.364	-0.669	-0.118	-0.137	-0.228	-0.054
	k_5	0.078	0.739	-0.11	0.078	-0.568	0.049	-0.138	-1.957
	k_6	-0.155	3.893	0.125	0.406	-1.011	-0.987	-0.986	-1.01
	k_7	1.03	0.685	0.673	0.987	1.065	0.991	1.029	1.084

Выводы и направление дальнейших исследований.

Самообучение является необходимым условием эффективной адаптации мехатронного проходческого комбайна к конкретным условиям его эксплуатации. Обоснован алгоритм самообучения интеллектуальной системы управления проходческого комбайна для адаптивной оптимизации цикла обработки и режимов разрушения забоя. Обоснован вид регрессионных зависимостей удельных энергозатрат и коэффициента неравномерности момента сопротивления на валу двигателя исполнительного органа от параметров режима разрушения забоя.

Список литературы

1. Шабает О.Е. Принципы интеллектуализации рабочих процессов мехатронной горной выемочной машины / О.Е.Шабает, А.К.Семенченко, Н.В.Хиценко / Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. - 2009. - №1. - С. 207-213.

2. Шабаев О.Е. Адаптивная оптимизация цикла обработки и параметров режима разрушения забоя проходческим комбайном избирательного действия по критерию темпа проходки / О.Е.Шабаев, А.К.Семенченко, Н.В.Хиценко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: междунар. сб. научных трудов. – 2010. – Вып. 39. – С.210-219.
3. Оценка эффективности проходческого комбайна с интеллектуальной системой "управление-подача" исполнительного органа / О.Е.Шабаев, А.К.Семенченко, Е.Ю.Степаненко, Н.В.Хиценко // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. - 2009. - №1. - С. 207-218.
4. Мехатронная система подачи исполнительного органа проходческого комбайна с интеллектуальным модулем воспроизведения контура выработки / О.Е.Шабаев, А.К.Семенченко, Н.В.Хиценко, Е.Ю.Степаненко // Проблеми експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок: збірник наукових праць. - 2008-2009. - Вип. 102-103. - С. 404-414.
5. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах : ОСТ 12.44.258-84. Методика. Введен с 01.01.1986. – М.: Минуглепром СССР, 1984. – 107 с.
6. Комбайны проходческие со стреловидным исполнительным органом. Расчет эксплуатационной нагруженности трансмиссии исполнительного органа: ОСТ 12.44.197-81. Введен с 01.07.1982. – М.: Минуглепром СССР, 1981. – 48 с.
7. Семенченко А.К. Влияние кинематических изменений заднего угла поворотного резца на формирование усилий подачи / А.К.Семенченко, О.Е.Шабаев, Д.А.Семенченко // Горный информационно – аналитический бюллетень. – 2001.-№11. - С. 230-232.
8. Костенко А.П. Установление рациональных режимов разрушения сильвинитовых пластов барабанными очистными комбайнами: дис. ... канд. техн. наук / А.П. Костенко.- Донецк, 1992.-193с.

О.Є. Шабаєв, А.К. Семенченко, Г.І. Хиценко, О.Ю. Степаненко. Алгоритм самонавчання інтелектуальної системи управління прохідницького комбайна. Обґрунтований вигляд регресійних залежностей питомих енерговитрат і коефіцієнта нерівномірності моменту опору на валу двигуна виконавчого органу від режимних параметрів руйнування і алгоритм самонавчання інтелектуальної системи управління прохідницького комбайна для адаптивної оптимізації циклу обробки при виборі оптимальних параметрів режиму руйнування забоя.

мехатроніка, виїмковий комбайн, адаптивна оптимізація, самонавчання, регресійна залежність, імітаційне моделювання

O. Shabaev, A. Semchenko, A. Khitsenko, E. Stepanenko. An Algorithm of Self-Training of Road-Header Intellectual Control System. The type of regressive dependences of specific energy consumption and the coefficient of the unevenness of the moment on the electric motor shaft of an acting unit on the regime parameters of destruction are developed. The algorithm of self-training of road-header intellectual control system is grounded for the adaptive optimization of the treatment cycle at the choice of optimum parameters of the mode of destruction of the backwall.

mechatronic, heading machine, adaptive optimization, self-training, regressive dependence, simulation

Стаття надійшла до редколегії 26.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. каф. «Гірничі машини» В.П.Кондрахін

© Шабаев О.Е., Семенченко А.К., Хиценко А.И., Степаненко Е.Ю., 2010