

УДК 622.28:681.5.015

Методология создания нейроподобных структур системы оптимального управления угледобывающим комплексом в условиях неопределенности

Предложен новый единый подход к построению системы управления выбором оптимальных или субоптимальных решений для управления скоростью подачи очистного комбайна и скоростью крепления вслед за режущим органом. Благодаря предложенному способу неравномерной цифровой дискретизации информации от любой из информационно-измерительных подсистем на три уровня обеспечивается возможность использования нейроподобных структур и баз знаний, накопленных ранее и корректируемых в реальном времени, для определения уставок в систему управления комбайном, в том числе без непосредственного присутствия оператора в особо опасных зонах.

Ключевые слова: угольный пласт, нейронные сети, оптимальное управление, карта нагрузки консоли.

Контактная информация: e-mail: vjlarin@gmail.com

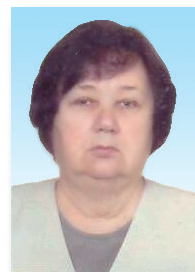
Системы управления угледобывающими комплексами, которые предусматривают защиту гидропривода от перегрузки и от коротких замыканий, имеют ограниченные функции автоматизации. В сложных ситуациях процесса угледобычи машинист комбайна и оператор крепей самостоятельно принимают решения по выбору параметров движения. Так, в текущей обстановке работы сложного объекта в пределах должностных обязанностей лучше других ориентируются горнорабочие очистного забоя (ГРОЗ) и горный мастер.

Однако результат усталости и привыкания к опасности, а также быстротечности динамических проявлений действий объекта управления – аварийные ситуации. Из-за отсутствия информационно-измерительных систем растет количество погибших шахтеров от одного до двух на тонну добытого угля. Чтобы решить задачу управления комплексом без непосредственного присутствия операторов в опасных зонах, их надо обеспечить доступными техническими средствами для накопления видимой информации о состоянии объекта.

В настоящее время актуально использование машинистом комбайна и горным мастером имеющейся информации о характеристике разрабатываемых пластов (в частности, лав) и текущей информации как базы знаний. Кроме того, необходимо дополнить базу знаний оптимальными по стоимости и реализации техническими решениями и тем самым предотвратить возникновение аварийных ситуаций (внезапные выбросы угля и газа или обрушения пород кровли в призабойное пространство), угрожающих жизни горнорабочих и появлению недопустимых для работоспособности комплек-



В. Ю. ЛАРИН,
доктор техн. наук
(НТУУ «КПИ»)



Н. И. ЧИЧИКАЛО,
доктор техн. наук
(ДонНТУ)



Я. А. САВИЦКАЯ,
аспирант
(ДонНТУ)

са простоев, например по факторам ликвидации последствий обрушений или конвергенции.

Данное предложение лежит в основе построения нейроподобной в сочетании с нейронной (мозг ГРОЗ) структурой системы управления угледобывающим комплексом в неизвестной заранее и постоянно изменяющейся обстановке.

Задачами создания нейроподобных структур для сложных

систем управления (например, роботов) занимались сотрудники Киевского института кибернетики (Н. А. Амосов, А. В. Каляев, Ю. В. Чернухин, В. П. Носков), Таганрогского государственного радиотехнического университета, НИИ спецмашиностроения МГТУ им. Н. Э. Баумана (В. А. Чернышев, И. В. Рубцов), в странах Запада и Японии [1, 2]. Разработанные ими теоретические результаты доведены до практического использования и проведения экспериментальных исследований. Сейчас нейроподобные структуры в системах управления развивают в рамках закрытых, стратегически важных программ.

Цель статьи – исследование возможности применения нейроподобной системы управления угледобывающим комплексом в условиях неопределенности. Укрупненный алгоритм решения задачи представлен на рис. 1.

Методология построения системы выбора оптимальных управляющих воздействий (скорость подачи очистного комбайна, скорость крепления вслед за режущим органом комбайна; математические и технические основы выбора оптимальных решений) должна включать:

разработку модели текущей ситуации в системе комплекс – среда;



Рис. 1. Укрупненный алгоритм управления угледобывающим комплексом в условиях неопределенности.

постановку задачи выбора текущего оптимального управляющего воздействия для достижения поставленной цели – безопасного управления угледобывающим комплексом;

методику решения задачи выбора оптимального управляющего воздействия в реальном времени, ориентированную на реализацию с помощью нейроподобных структур;

принципы построения нейроподобной структуры (НС) системы управления скоростью подачи очистного комбайна, основанные на формализованных математических моделях выработки оптимальных управляющих воздействий, доведенных до реализации техническими средствами взаимодействия НС с локальным регулятором.

Рассмотрим процесс разработки модели текущей ситуации в системе комплекс–среда на основе информации в реальном времени от датчиков и накопленной операторами или известной ранее горно-геологической информации о среде. Под средой в данном случае подразумеваются вмещающие породы. Изменения в среде могут происходить в результате действия режущего органа комбайна, усилие резания которого зависит от скорости подачи $v_{\text{п}}$. Свойства вмещающих пород (кровля, почва, угольный пласт) характеризуют горно-геологические условия добычного участка и проявляются в дискретном времени, измеренном действиями угледобывающего комплекса, т. е. зависят от горнотехнических условий. Горно-геологические условия вмещающих пород добычного участка определяются уровнем устойчивости пород непосредственной кровли, а также потенциальной энергией $E_{y,m}$ угольного массива как функции накопленного в нем метана: $E_{y,m} = \varphi(k \text{ CH}_4)$.

Динамические свойства вмещающих пород проявляются: при определенных горнотехнических параметрах комплекса – усилий резания $P_{\text{р}}$ как функции скорости подачи $P_{\text{р}} = f(v_{\text{п}})$ и динамических свойств секций крепи; при нарушении технических параметров – размера незакрепленного пространства $H_{\text{нр}}$, непрямолинейности линии забоя $S_{\text{л.з}}$, точности контроля местоположения комбайна относительно секций крепи $L_{\text{м.к}}$.

Дискретный диапазон изменения скорости подачи очистного комбайна, например типа 1ГШ68, составляет 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 м/мин. Машинист комбайна выбирает $v_{\text{п}}$ в зависимости от состояния кровли над секциями крепи при каждом определенном снятии стружки угля. Кроме того, верхний

предел v_n до уровня 2 или 3 м/мин ограничивается по условию сопротивляемости угля резанию для разрабатываемого пласта. В случаях неустойчивых пород кровли из-за вывалов над секциями консольной части перекрытия может отсутствовать контакт кровли с перекрытием. При каждом следующем ходе комбайна и снятии им стружки угля может образоваться купол. В результате обрушаются породы кровли в призабойное пространство и возникают простои во время ликвидации последствий этих обрушений.

Горный мастер, согласно Правилам ведения горных работ, при образовании купола над тремя секциями дает команду на остановку комбайна ($v_n = 0$) и на выкладку костров для обеспечения контакта системы кровля–крепь.

Если породы кровли устойчивые, возможны их зависания у завального конца секций. Последнее приводит к перегрузу и, как следствие, к ликвидации запаса гидравлической раздвижности h_p для разгрузки стоек крепи, т. е. к их посадке «на жесткую». Чтобы этого не происходило, время передвижения линии забоя на новую дорогу не должно превышать $T_{пр} \leq 2$ ч. В противном случае проявляется действие конвергенции (сближение кровли с почвой). Если на жесткой посадке окажется 1/3 часть секций, возникает аварийная ситуация, и освободить угледобывающий комплекс для дальнейшей работы практически невозможно. Так как h_p незначительная (для пластов мощностью менее 1 м принимается равной 0,03 м, более 1 м – 0,05 м), то в зависимости от типоразмера гидростоек предъявляются жесткие требования к точности контроля действий процессов конвергенции или строгого соблюдения Правил ведения горных работ.

Используя результаты экспериментальных исследований и опыт специалистов, можно сформировать управляющие воздействия (табл. 1) и модель текущей ситуации в системе комплекс–среда (табл. 2). На рис. 2, а представлена карта нагрузки консоли (КНК) в зависимости от контакта с породами кровли [3]. Карта нагружения консоли крепи типа КМ-87 получена экспериментально на

универсальном стенде Донецкого угольного института, на котором была возможность создать имитацию почвы и кровли, между которыми устанавливали секции экспериментальной крепи.

Условия, влияющие на динамические процессы угледобывающего комплекса

Скорость подачи $v_{пр}$, м/мин	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6
Потенциальная энергия угольного массива $E_{у.м}$	$\varphi (k \text{ CH}_4) \leq P_p$
Усилие резания P_p	$f(v_n)$
Размеры незакрепленного пространства, м	$0,003 \leq H_{пр} \leq 0,03$
Непрямолинейность линии забоя, м	$0,003 \leq S_{л.з} \leq 0,01$
Местоположение комбайна относительно секций крепи, м	$0,01 \leq L_{м.к} \leq 0,03$
Запас гидравлической раздвижности для разгрузки стоек крепи, м	$0,03 \leq h_p \leq 0,05$
Безопасное время передвижения линии забоя на новую дорогу, при котором не проявляется конвергенция $T_{пр}$, ч	≤ 2
Коэффициенты ограничения допустимой v_n по условиям сопротивляемости угля резанию в зависимости от конкретных горно-геологических условий	$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$
Долевой коэффициент максимально возможной $v_n \text{ max} \leq 6$, м/мин,	
в двоичном коде $\alpha = 0,5, 1, 2, 3$	$\alpha = \left(\sum_{i=1}^3 \alpha_i \leq 6 \right)$

Давление на крепь обеспечивали гидравлическим прессом и измеряли магнитоупругими датчиками силы с аналоговым выходным сигналом

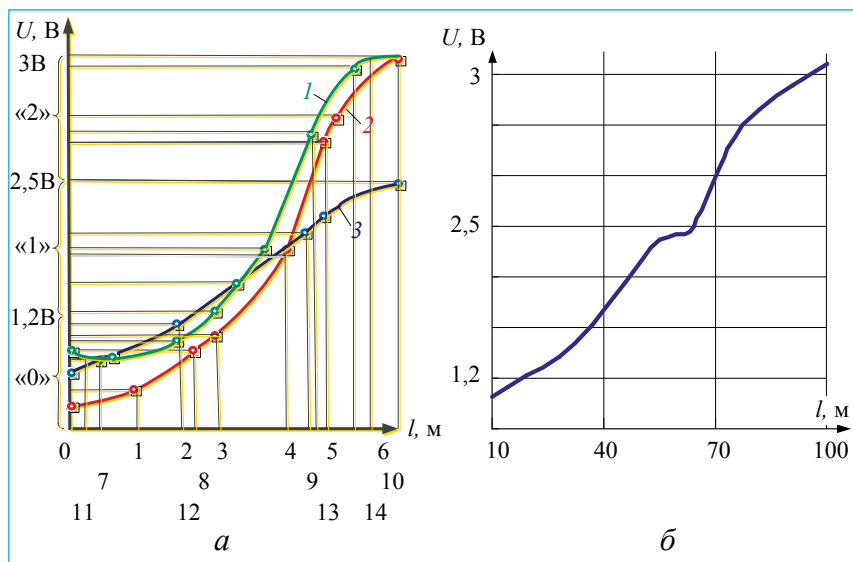


Рис. 2. Карта нагрузок консоли по данным эксперимента в зависимости: а – от контакта системы кровля–консоль перекрытия; б – после статистической обработки данных.

РАЗРАБОТКА ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Таблица 1

№ п/п состояний кровля – крепь	Характеристика состояний трех секций перед комбайном			Диапазон выбора оптимальной скорости подачи в зависимости от нагруженного состояния трех секций, находящихся впе- реди по ходу движения						Ситуация среды и управляющие воздействия	
	1-я	2-я	3-я	0	1	2	3	4	5		6
1	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	Над тремя секциями – вывал, сигнал на останов комбайна и предупредительный сигнал на выкладку ко- стров
2	0	0	1	-	1	-	-	-	-	-	Над первыми двумя секциями – вывал, над третьей – норма, скорость первая
3	0	0	2	0	-	-	-	-	-	-	Над первыми двумя – вывал, над третьей – превыше- ние давления, сигнал на останов , предупредительный сигнал на выкладку коствров
4	0	1	0	-	-	2	-	-	-	-	Над первой и третьей – вывал, над второй – норма, скорость вторая
5	0	1	1	-	-	-	3	-	-	-	Над первой – вывал, над второй и третьей – норма, скорость третья
6	0	1	2	-	-	2	-	-	-	-	Над первой – вывал, над второй – норма, над третьей – превышение давления, скорость вторая
7	0	2	0	0	-	-	-	-	-	-	Над первой – вывал, над второй – превышение давле- ния, над третьей – вывал, останов , сигнал на выкладку коствров
8	0	2	1	-	1	-	-	-	-	-	Над первой – вывал, над второй – превышение давле- ния, над третьей – норма, скорость первая
9	0	2	2	0	-	-	-	-	-	-	Над первой – вывал, над второй и третьей – превыше- ние давления, останов , сигнал на принятие мер, на вы- кладку коствров
10	1	0	0	-	-	-	3	-	-	-	Над первой – норма, над второй и третьей – вывал, скорость третья
11	1	0	1	-	-	-	-	4	-	-	Над первой – норма, над второй – вывал, над третьей – норма, скорость четвертая
12	1	0	2	-	-	-	3	-	-	-	Над первой – норма, над второй – вывал, над третьей – превышение давления, скорость третья
13	1	1	0	-	-	-	-	-	5	-	Над первой, второй – норма, над третьей – вывал, скорость пятая
14	1	1	1	-	-	-	-	-	-	6	Над первой, второй, третьей – норма, скорость шестая
15	1	1	2	-	-	-	-	-	5	-	Над первой, второй – норма, над третьей – превыше- ние давления, скорость пятая
16	1	2	0	-	-	-	3	-	-	-	Над первой – норма, над второй – превышение давле- ния, над третьей – вывал, скорость третья
17	1	2	1	-	-	-	-	4	-	-	Над первой – норма, над второй – превышение давле- ния, над третьей – норма, скорость четвертая
18	1	2	2	-	-	-	3	-	-	-	Над первой – норма, над второй и третьей – превыше- ние давления, скорость третья
19	2	0	0	0	-	-	-	-	-	-	Над первой – превышение давления, над второй – вы- вал, останов , предупредительный сигнал на выкладку коствров
20	2	0	1	-	1	-	-	-	-	-	Над первой – превышение давления, над второй – вы- вал, над третьей – норма, скорость первая
21	2	0	2	0	-	-	-	-	-	-	Над первой – превышение давления, над второй – вы- вал, над третьей – превышение давления, останов , предупредительный сигнал на выкладку коствров

№ п/п состояний кровля – крепь	Характеристика состояний трех секций перед комбайном			Диапазон выбора оптимальной скорости подачи в зависимости от нагруженного состояния трех секций, находящихся впе- реди по ходу движения						Ситуация среды и управляющие воздействия	
	1-я	2-я	3-я	0	1	2	3	4	5		6
22	2	1	0	-	-	2	-	-	-	-	Над первой – превышение давления, над второй – норма, над третьей – вывал, скорость вторая
23	2	1	1	-	-	-	3	-	-	-	Над первой – превышение давления, над второй – норма, над третьей – норма, скорость третья
24	2	1	2	-	-	2	-	-	-	-	Над первой – превышение давления, над второй – норма, над третьей – превышение давления, скорость вторая
25	2	2	0	-	1	-	-	-	-	-	Над первой и второй – превышение давления, над третьей – вывал, останов , предупредительный сигнал на выкладку костров
26	2	2	1	-	1	-	-	-	-	-	Над первой и второй – превышение давления, над третьей – норма, скорость первая
27	2	2	2	0	-	-	-	-	-	-	Над первой, второй и третьей – превышение давления, останов , предупредительный сигнал на проведение работ, предупреждающих посадку секции «на жесткую»

$U_{\text{вых}}$ При этом фиксировалась нагрузка $U = f(P)$, а также предусматривались разные варианты контакта консольной части крепи с кровлей с помощью подвижной единичной силы, обеспечиваемой передвижением деревянных опор на разные участки по длине консольной части.

По трем вариантам контакта (сбоку, посередине – точечный контакт и по ширине перекрытия, соответственно кривые 1, 2, 3 на рис. 2, а) получены три характеристики карты нагружения консоли и выделения на ней участков, соответствующих наличию вывалов (куполов), номинальной нагрузке и превышению допустимой нагрузки. Испытания в условиях шахты полностью подтвердили результаты стендовых. Точки приложения сил вдоль консоли показаны по оси абсцисс в три ряда (цифры от 1 до 14). Рассмотренная экспериментальная КНК, обработанная статистическими методами, представлена на рис. 2, б.

На рис. 3 – пример консоли крепи с установленным чувствительным элементом датчика 2 и силопередающими элементами 1 и 3. Как показывают результаты эксперимента, сигналы от датчиков в пределах 0–1,2 В фиксируют наличие вывала: в пределах 1,2–2,5 В – нормальную нагрузку, в пределах 2,5–3 В – превышение нормы. Их дискретные зна-

чения соответственно приняты: «0», «1», «2» (см. рис. 2, а). Предложенная неравномерная дискретизация уровней избавляет от избыточности информации, а значит не требует дополнительной фильтрации. По оси ординат показаны значения выходного напряжения датчиков нагрузки и одновременно диапазоны дискретных уровней нагрузки. Это в значительной степени повышает надежность технических решений и дает основание вместо использования моделей в виде детерминированных или дифференциальных уравнений предложить новую концепцию создания нейророботных структур, решающих задачу выбора управляющих воздействий (см. табл. 1) в виде 27 состояний. Данную методику как единый подход можно использовать для любой из подсистем.

Представим математически постановку задачи и целевую функцию оптимального и безопасного управления комплексом в реальной динамической среде. Состояние угледобывающего комплекса

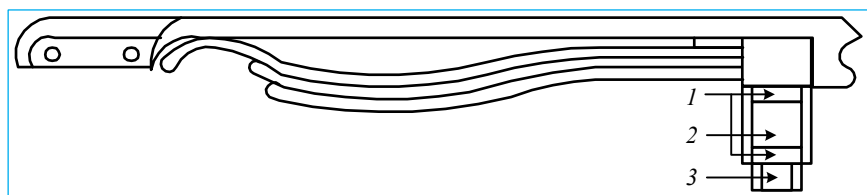


Рис. 3. Схема способа экспериментального получения КНК для механизированных крепей рессорного типа.

Таблица 2

Область применения	Математическая модель	Параметры			Уставки взаимной адаптации
		контролируемые	сопутствующие	определяемые	
Учет простоев	<p>Предыстории</p> $v_n^{n+1}(l) = \begin{cases} \min v_n^{n-1}(l) \vee l_{k-\gamma}^0 \leq l_{k+\beta}^0 \\ \max(v_n^{n-1}(l), v^n(l)) \vee v_n^{n-1} \neq v_n^{n-1}(l), \\ v_n^n(l)+1, v_n^{n-1}(l) = v_n^n(l) \end{cases}$	t	$l_{k+\beta}^0, l_{k-\gamma}^0$ – участки с горно-геологическими нарушениями	l_0 – место остановки комбайна с простоем продолжительностью $t > 20$ мин на предыдущем цикле, $n-1$ и n – предыдущие к циклу предыстории	$v_n^{n+1}(l)$ – скорость комбайна на третьем цикле с учетом скорости на первом и втором циклах
Точный контроль местоположения комбайна относительно секций крепи	<p>Определения точного местоположения комбайна</p> $l = (k-1)d + 6 \int_{t_0}^t U(t) dt, k=1, 2, \dots, m;$ $d = (a+b)k \vee 0 \leq l \leq L$	$t_0, 0 \leq U \leq 1$ – сигнал датчика скорости движения комбайна, принадлежащий регулятору УРАН	a – ширина перекрытия, b – расстояние между секциями, d – расстояние между стойками	l	–
Выбор оптимальной скорости подачи $v_{п1}$ по состоянию пород кровли в призабойном пространстве	<p>Учета состояния кровли в призабойном пространстве</p> $v_{п1} = \alpha(2-P_1)P_1 + \alpha_2(2-P_2)P_2 + \alpha_3 \times (2-P_3)P_3,$ $P_i \in M, i = \bar{1}, \bar{3}, M = \{0, 1, 2\},$ $\alpha_i \in \Omega, i = \bar{1}, \bar{3}, \Omega = \{0, 0, 5, 1, \dots, 3\}$	P_1, P_2, P_3 – показания датчиков нагрузки консоли трех текущих секций крепи по ходу движения комбайна	$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коэффициенты определения предельного значения v	$v_{п1}$	$v_{п1}$ – ограничение скорости по фактору состояния кровли
Для участков, опасных внезапными выбросами угля и газа, оборудованных дополнительно к предыдущим условиям датчиком контроля усиления потенциальной энергии угольного массива	<p>Учета состояния пород кровли и угольного забоя</p> $v_{п2} = (2-P_4) \left[(1-P_4)/2 + \alpha_4 P_4 / v_{п2} \right] v_{п \max},$ $P_4 = \begin{cases} \langle 0 \rangle, & v_{п2} = v, \\ \langle 1 \rangle, & v_{п2} = v / v_{\max}, \\ \langle 2 \rangle, & v_{п2} = 0 \end{cases}$	P_4 – показания датчика контроля усиления потенциальной энергии угольного массива	α_4 – коэффициент учета предельного значения v	$v_{п2}$	$v_{п2}$ – уставка на ограничение скорости дополнительно по фактору напряженно-деформированного состояния угольного массива

можно описать набором Q параметров q_1, q_2, \dots, q_m . Управляющий комплекс функционирует в определенных горно-геологических условиях, которые можно описать соответственно набором G параметров g_1, g_2, \dots, g_h , и в горнотехнических условиях – набором v параметров v_1, v_2, \dots, v_r , влияющих на результат работы комплекса. Представим это решениями дифференциальных уравнений вида

$$\dot{S}_i = f_i(s_1, \dots, s_n; d_1, \dots, d_l), \quad i=1, 2, \dots, n,$$

где s_1, \dots, s_n – переменные состояния системы комплекс – среда, являющиеся объединением параметров $q_1, \dots, q_m; g_1, \dots, g_h; v_1, \dots, v_r$, очевидно, $n = m + h + r$; $f_i(s_1, \dots, s_n; d_1, \dots, d_l) = f_i(S, D)$ – нелинейные функции переменных состояний системы комплекс–среда и действий интеллектуальной нейрореподобной системы (ИНПС).

В итоге на возможные состояния системы комплекс–среда, а также на возможность применения того или иного управляющего воздействия в конкретных условиях должны налагаться ограничения, описанные на с. 7.

Цель функционирования ИНПС – преобразование системы комплекс–среда из текущего состояния $S_0 = (Q_0, G_0, v_0)$ в целевое $S_k = (Q_k, G_k, v_k)$. Различных вариантов такого преобразования может быть множество. Критерий оптимизации в виде функционала

$$J = \int_{t_0}^{t_k} f_0(S, D) dt,$$

где t_0 – текущий момент времени; t_k – момент достижения системой комплекс–среда целевого состояния S_k , при котором управляющее воздействие будет иметь экстремальное значение. При этом $f_0(S, D) = f_i(s_1, \dots, s_n; d_1, \dots, d_l)$ – некоторая нелинейная функция своих переменных.

Однако состояние функционирования системы комплекс–среда типа ИНПС путем решения дифференциальных уравнений трудоемко и требует многопроцессорных систем, параллельно обрабатывающих информацию в пространстве и во времени. Сложность рассматриваемого угледобывающего комплекса определя-

ется сложностью реализации технических решений, связанных со следующими особенностями объекта:

- большим количеством (до 350) однотипных механизмов секций крепи, соответствующих длине лавы (например, в Донбассе 35, 50, 250, 350 м);
- сложностью коммутации источников напряжения, питающих искробезопасные измерительные средства – по требованиям искробезопасности института МакНИИ к источнику питания не допускается одновременное подключение более трех датчиков [4, 5];
- минимизацией кабельных линий связи;
- нерешенной проблемой использования беспроводной связи;

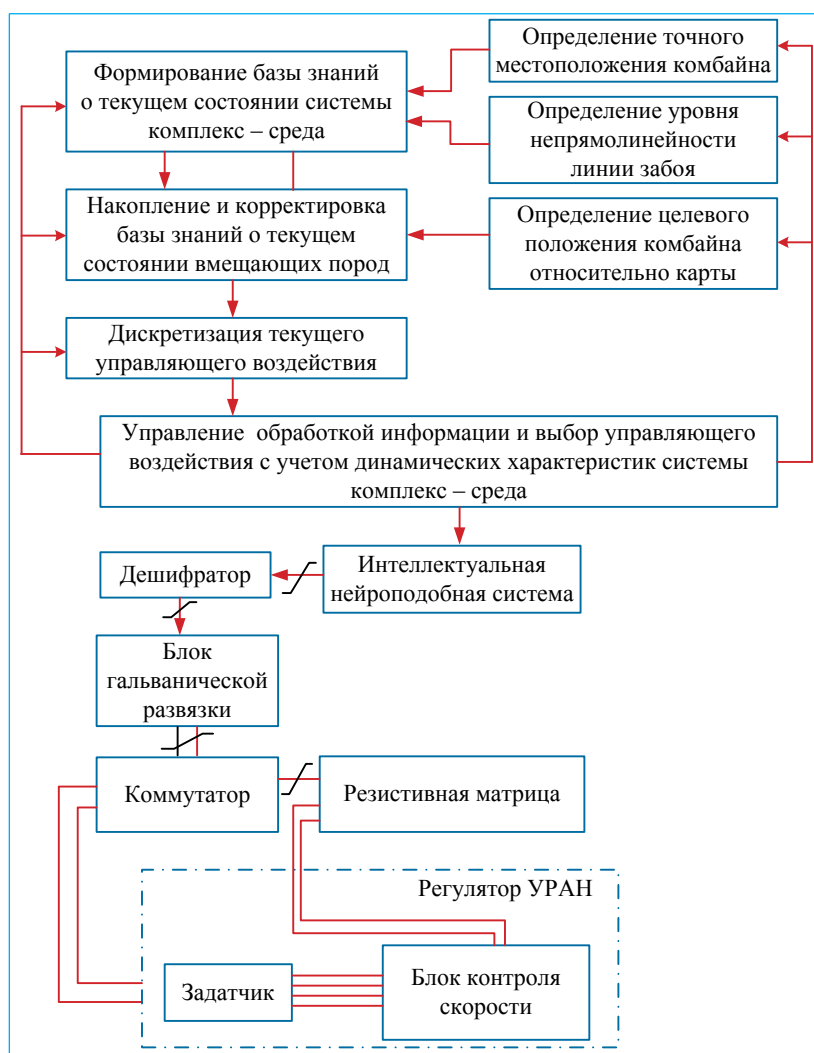


Рис. 4. Функциональная схема системы выработки оптимальной скорости подачи угледобывающего комбайна на основе нейрореподобных структур.

недостаточной точностью контроля местоположения комбайна относительно секций крепи, что не обеспечивает передвижение секций крепи вслед за режущим органом;

отсутствием реализации известных систем и способов контроля: нагрузок на консольную часть секций крепи [5], точного местоположения комбайна, усилий резания и потенциальной энергии забоя [5, 6];

отсутствием реализации непрямолинейности линии забоя, что мешает использовать известные горно-геологические и маркшейдерские сведения для выбора оптимальных или субоптимальных управляющих решений.

Учитывая сложность экономической реализации известных систем, усложнение процессов угледобычи с увеличением глубины разработок и притоков грунтовых вод из закрытых рудников, а также необходимость повышения безопасности ГРОЗ по условиям обрушения пород кровли и внезапных выбросов угля и газа, первоочередная задача – создание системы управления без непосредственного присутствия оператора в особо опасных зонах.

Решить эту задачу можно с помощью систем управления, базирующихся на однородных нейроподобных структурах, использующих базы знаний со сведениями о характеристике разрабатываемого пласта, маркшейдерскими сведениями, дополняемыми текущей информацией горным мастером, машинистами комбайна и крепей и минимально необходимым количеством доступных технических решений.

Для решения задачи в такой постановке обязательен контроль и повышение точности контроля прямолинейности линии забоя, а также вычислительные устройства определения точного местоположения системы комбайн–секция с когнитивным отображением номера секции для ориентации как машиниста, так и горного мастера для занесения ими видимой информации в базу знаний. Укрупненная структура однородной нейроподобной системы с обязательными техническими средствами для реализации управляющих воздействий показана на рис. 4.

Выводы. Предложенная неравномерная дискретизация значимых уровней информационных характеристик избавляет от избыточности информации, что в значительной степени повышает надежность технических решений и вместо использования моделей в виде детерминированных или дифференциальных уравнений предлагает новую концепцию создания системы оптимального управления комплексом на основе нейроподобных структур, решающих ту же задачу выбора управляющих воздействий.

Разработана информационная технология управления угледобывающим комплексом в опасных зонах на основе единого подхода к оценке состояния вмещающего пространства очистного забоя путем использования известных горно-геологических и маркшейдерских данных и видимой информации с текущей корректировкой баз знаний.

Основные положения статьи могут быть полезны для реализации любой из подсистем для обеспечения оптимального управления угледобывающим комплексом без непосредственного присутствия оператора в особо опасных зонах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Каляев И. А.* Однородные нейроподобные структуры в системах выбора действий интеллектуальных роботов / И. А. Каляев, А. Р. Гайдук. – М.: Янус-К, 2000. – 280 с.
2. *Гайдук А. Р.* Идентификация объектов управления на основе матриц Ганкеля / А. Р. Гайдук, В. Е. Беляев // Синтез алгоритмов сложных структур. – Таганрог: ТРТУ, 1997. – С. 74 – 78.
3. *Ларин В. Ю.* Первичные преобразователи для информационно-измерительных весоизмерительных систем / В. Ю. Ларин, Н. И. Чичикало // Наукові праці ДонДТУ. – Донецк: ДонДТУ, 2003. – Вып. 64. – С. 274 – 279.
4. *Ларин В. Ю.* Новые методики исследования и разработки приборов и систем: монография / В. Ю. Ларин. – Донецк: Вебер, 2010. – 316 с.
5. *Зборщик М. П.* Основы теории определения состояния добычных объектов в процессе их функционирования / М. П. Зборщик, Н. И. Чичикало. – Донецк: РИА ДонГТУ, 1998. – 117 с.
6. *Чичикало Н. И.* Методы контроля напряженно-деформированного состояния объектов / Н. И. Чичикало. – Донецк: РИА ДонГТУ, 1997. – 187 с.