

СЕМЕНЧЕНКО Анатолий¹, ШАБАЕВ Олег², СТЕПАНЕНКО Елена³

АДАПТИВНОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДАЧЕЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА

Разработаны структура мехатронной системы подачи стреловидного исполнительного органа, позволяющая реализовать одновременную подачу режущих коронок в двух взаимно перпендикулярных направлениях, и алгоритм ее адаптивного компьютерного управления.

Введение

Угольная промышленность является основной сырьевой и энергетической базой для всех отраслей народного хозяйства. На современном этапе во всем мире ставится задача интенсификации добычи угля до 5-ти и более тысяч тонн в сутки. По данным института «Донгипроуглемаш» (Украина), важным фактором, сдерживающим рост нагрузки на современные добычные комплексы, является отставание в подготовке нового фронта очистных работ [1]. Одной из основных причин, ограничивающих техническую производительность проходческих комбайнов (ПК), является недостаточная эффективность управления процессом разрушения забоя, а именно, функционированием системы подачи их исполнительного органа (ИО), основным требованием к которой должно быть обеспечение оптимальной схемы обработки забоя. Случайный характер и изменчивость горно-геологических условий в процессе эксплуатации комбайна приводит к необходимости реализации новых функций системы подачи его ИО, обеспечивающих адаптацию режимов работы проходческих машин на основе интеллек-

¹ Докт. техн. наук СЕМЕНЧЕНКО Анатолий – ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

² Докт. техн. наук ШАБАЕВ Олег – ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

³ Магистр СТЕПАНЕНКО Елена – ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

E-mail: oeshabaev@yandex.ru

туального управления. Таким образом, одним из перспективных направлений повышения технического уровня ПК является оснащение их мехатронными системами подачи ИО с адаптивным компьютерным управлением процессом разрушения забоя, что позволит повысить скорости подачи ИО и точность оконтуривания выработки, совместить во времени два и более режима обработки забоя и снизить динамическую нагруженность элементов комбайна.

Структура мехатронной системы подачи исполнительного органа проходческого комбайна

Основными показателями, определяющими технический уровень ПК, являются их техническая производительность и ресурс. В качестве целевых функций при оптимизации по критерию производительности могут быть приняты длительность полного цикла обработки забоя и величина перебора породы по контуру выработки. При оптимизации по критерию ресурса целевыми функциями являются относительное число циклов нагружения (например, на метр проходки), значения максимальных амплитуд и количество циклов низкочастотной составляющей нагрузки в силовых системах комбайна за цикл обработки забоя.

Одним из направлений оптимизации существующих схем обработки забоя горизонтальными или вертикальными резами является совмещение во времени двух (зарубка и боковой рез, фронтальная зарубка и вертикальный рез) режимов обработки забоя, невозможность реализации которого является основным недостатком существующих систем подачи стреловидных ИО ПК с ручным управлением их рабочими процессами.

С учетом этого недостатка была разработана мехатронная система подачи стреловидного ИО ПК в виде 3-х взаимоувязанных подсистем: механизма подачи, регулируемого гидропривода и адаптивного компьютерного управления.

Основным отличием предложенной структуры гидропривода (рис.1) является независимая подача жидкости в гидроцилиндры поворота (Ц1, Ц2) и в гидроцилиндры подъема (Ц3, Ц4) или выдвижения (Ц5, Ц6) стрелы. Это делает возможным одновременное движение ИО в двух взаимно перпендикулярных направлениях с независимой регулировкой скоростей подачи на основе частотных преобразователей

асинхронных двигателей (АД1, АД2), связанных с нерегулируемыми насосами (Н1,Н2), или на основе регулирования насосов (Н1,Н2) путем изменения их рабочего объема гидравлическими регуляторами нагрузки.

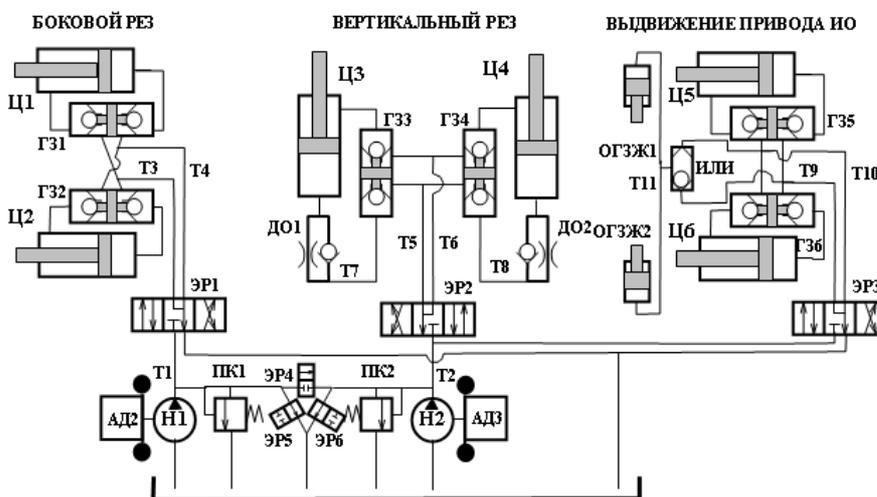


Рис.1 Структура гидропривода мехатронной системы подачи стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна

При этом частотные преобразователи ли гидравлические регуляторы нагрузки являются выходными элементами подсистемы адаптивного компьютерного управления (рис.2), которая также включает в себя модули информационной, сенсорной и навигационной систем, а также системы интеллекта мехатронного ПК, связанной с дистанционной системой его управления и оператором.

Основными преимуществами разработанной структуры системы подачи ИО как мехатронной является возможность реализации одновременной подачи ИО в двух взаимно перпендикулярных направлениях; обеспечение оптимальных параметров режимов разрушения забоя, минимального перебора породы по контуру выработки и отработки управляющих воздействий системы интеллекта с учетом инерционных свойств комбайна на основе адаптивного компьютерного управления.

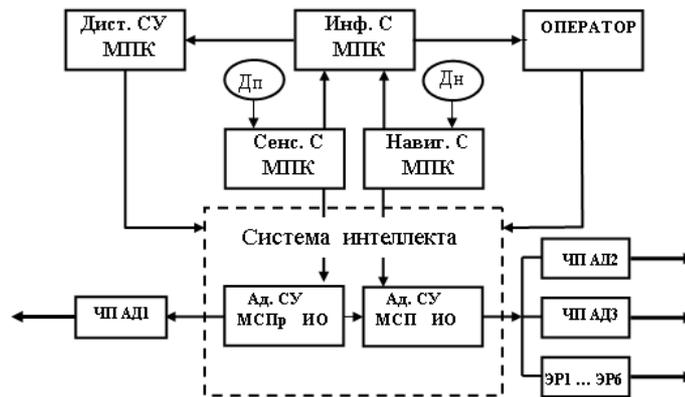


Рис. 2 Структура адаптивной компьютерной подсистемы управления мехатронной системы подачи стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна

Алгоритм адаптивного компьютерного управления подачей стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна

Для реализации вышеперечисленных преимуществ мехатронной системы подачи ИО разработан алгоритм адаптивного компьютерного управления его перемещениями, основанный на синергетическом объединении блоков различной физической природы (интеллектуального, информационного, компьютерного и электрогидромеханического) в единую функциональную цепь, и приведенный на рис.3.

На основе обработки данных информационной системы ПК о постоянных проектирования (структура массива и его физико-механические свойства, форма и размеры сечения выработки, заданный оператором критерий оптимизации) система интеллекта комбайна с учетом ограничивающих факторов внешней среды, конструкции и технических возможностей машины выбирает оптимальную схему обработки забоя и разбивает его сечение на N_k слоев, соответствующих числу режимов разрушения массива, составляющих полный цикл обработки забоя. При этом для каждого k -го режима с учетом инерционных свойств комбайна [2] определяются конечные значения углов поворота β_k и подъема α_k стрелы, а также величины заглубления режущего органа в массив l_k . Также система интеллекта комбайна фиксирует наличие или отсутствие в каждом k -том слое переходов исполнительного органа на разрушение более прочной породы и с учетом

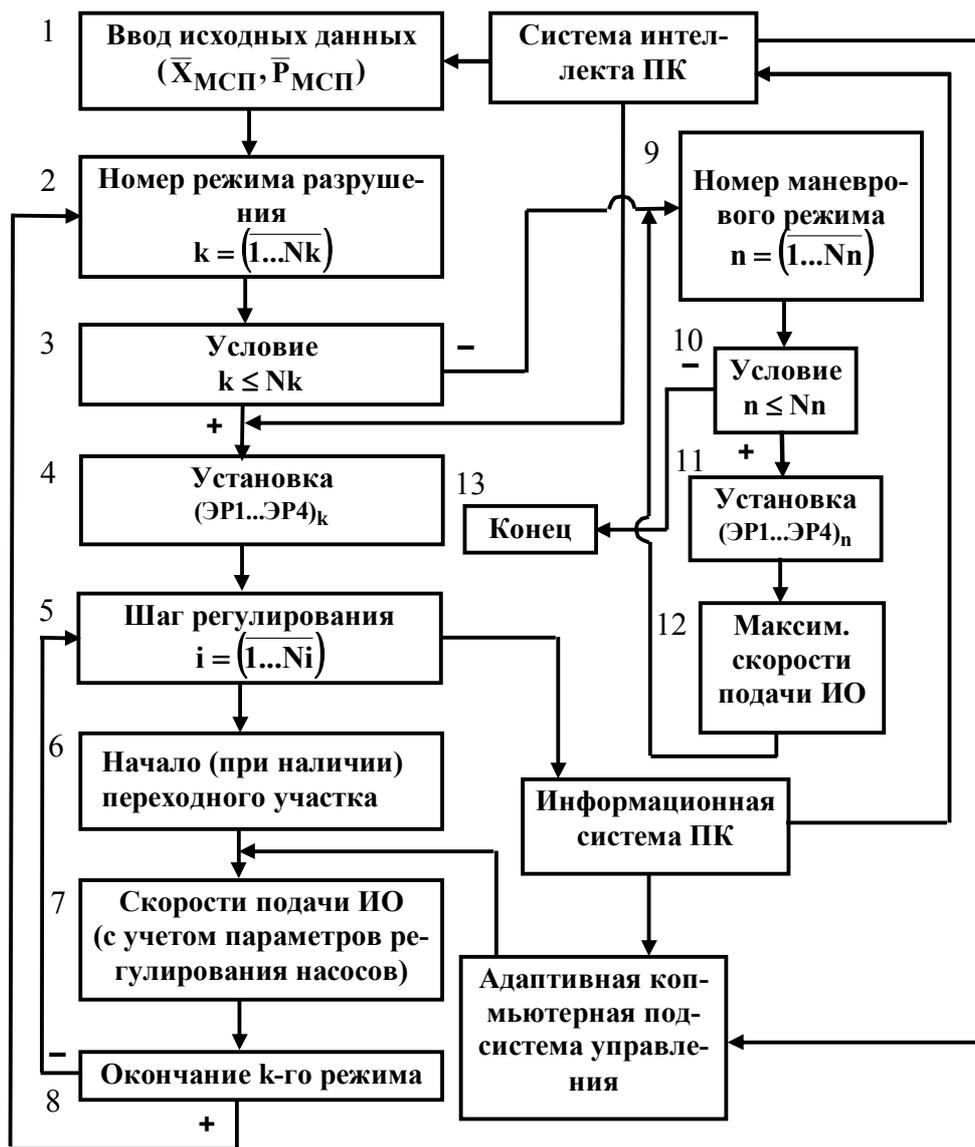


Рис. 3 Алгоритм адаптивного компьютерного управления подачей стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна

инерционности машины определяет значения углов поворота стрелы β_{1k} , при которых необходимо начинать регулирование производительности насоса, нагнетающего жидкость в гидроцилиндры поворота режущего органа ПК, обеспечивающее стабилизацию и поддержание мощности привода резания в диапазоне рациональных значений ($P_{\text{рац}} \pm \Delta P$) при обработке переходных участков забоя неоднородной структуры и последующем разрушении слоев более высокой контактной прочности [3].

Блок 1 алгоритма адаптивного компьютерного управления производит ввод исходных параметров $\bar{P}_{\text{МСП}}$ мехатронной системы подачи стреловидного ИО ПК, включая начальные значения контролируемых и управляемых параметров $\bar{X}_{\text{МСП}}$.

К контролируемым относятся: угол поворота стрелы β_j , угол подъема стрелы α_j , величина заглубления коронки в массив l_j , мощность двигателя привода резания P_j и производительности насосов Q_{1j} и Q_{2j} , нагнетающих жидкость в гидроцилиндры подачи ИО. Контроль осуществляется при помощи информационной системы комбайна, которая содержит устройства для преобразования и ввода в бортовой компьютер информации, получаемой от первичных преобразователей (датчиков) о текущих значениях указанных параметров.

Управляемыми параметрами являются производительности насосов Q_{1j} , Q_{2j} и положения электрораспределителей $R1...R4$.

Блок 2 присваивает номер $k = k + 1$ каждому последующему режиму обработки забоя.

Блок 3 выполняет проверку условия $k \leq N_k$, где N_k - номер последнего режима.

Если условие выполняется, **блок 4** устанавливает электрораспределители в положения, соответствующие реализации текущего режима обработки забоя:

- $R1 = 1$ - поворот ИО влево, $R1 = -1$ - поворот ИО вправо, $R1 = 0$ - отсутствие горизонтального поворота ИО;
- $R2 = 1$ - вертикальная подача ИО вверх, $R2 = -1$ - вертикальная подача ИО вниз, $R2 = 0$ - отсутствие вертикальной подачи ИО;

- $R3 = 1$ - выдвижение ИО вперед, $R3 = -1$ - задвижка ИО в исходное положение, $R1 = 0$ - отсутствие горизонтального выдвижения / задвижки ИО;

- $R4 = 1$ - совместная работа двух насосов на одну напорную магистраль, $R1 = 0$ - раздельная работа насосов.

Блок 5 фиксирует номер шага реализации алгоритма: $i = i + 1$, после чего информационная система комбайна предоставляет адаптивной компьютерной подсистеме управления данные о текущих значениях контролируемых параметров (β_i ; α_i ; l_i ; P_i ; $Q1_i$; $Q2_i$).

Блок 6 проверяет условие начала переходного участка при его наличии в k -том режиме обработки забоя неоднородной структуры (т.е. $\beta1_k \neq 0$) на i -том шаге реализации алгоритма:

$$([\beta_{ki} \geq \beta1_k \cap R1 = 1] \cup [\beta_{ki} \leq \beta1_k \cap R1 = -1])$$

Пока это условие не выполняется (т.е. угол поворота стрелы не достигает значения $\beta1_k$), **блок 7** рассчитывает производительность насоса, нагнетающего жидкость в гидроцилиндры поворота ИО, по следующим формулам:

$$\begin{cases} Q1_{ki} = Q1_{\min} & \text{if } (Q1_{ki} \leq Q1_{\min}) \cap (\beta_{ki} < \beta_k); \\ Q1_{ki} = Q1_{\max} & \text{if } (Q1_{ki} \geq Q1_{\max}) \cap (\beta_{ki} < \beta_k); \\ Q1_{ki} = 0 & \text{if } \beta_{ki} \geq \beta_k; \\ Q1_{ki} = Q1_{k(i-1)} & \text{otherwise;} \end{cases}$$

где

$Q1_{ki}$, $Q1_{k(i-1)}$ - соответственно значения производительности насоса Н1 при реализации k -го режима разрушения на i -м и $(i-1)$ -м шагах регулирования;

$Q1_{\min}$, $Q1_{\max}$ - соответственно значения минимально и максимально возможной производительности насоса Н1.

Как только условие начала переходного участка начинает выполняться, производительность $Q1_{ki}$ начинает рассчитываться по зависимостям:

$$\begin{cases} Q1_{ki} = f(q, n)_i \cdot Q1_{k(i-1)} \text{ if } (Q1_{\min} \leq Q1_{ki} \leq Q1_{\max}) \cap (\beta_{ki} < \beta_k) \cap \\ \quad \cap ([P_{\text{рац}} + \Delta P] \leq P_{y_i} \leq [P_{\text{рац}} - \Delta P]); \\ Q1_{ki} = 0 \text{ if } \beta_{ki} \geq \beta_k; \\ Q1_{ki} = Q1_{k(i-1)} \text{ otherwise,} \end{cases}$$

где

P_{y_i} - усредненная мощность двигателя привода резания;

$f(q, n)_i$ - параметр регулирования производительности насоса Н1 за счет изменения его рабочего объема q либо частоты вращения n на i -м шаге реализации алгоритма, рассчитываемый адаптивной компьютерной подсистемой управления для стабилизации мощности двигателя привода резания путем снижения скорости подачи ИО [4]:

$$f(q, n)_i = f(q, n)_{i-1} + \Delta t \cdot V_{f_0} \cdot \text{sign}(P_{\text{рац}} - P_i),$$

где

$f(q, n)_{i-1}$ - параметр регулирования производительности насоса Н1 на $(i-1)$ -м шаге реализации алгоритма;

Δt - шаг регулирования, с;

V_{f_0} - постоянная скорости регулирования производительности насоса, с^{-1} .

При отсутствии переходного участка забоя в k -м режиме разрушения производительность $Q1_{ki}$ определяется по зависимостям, приведенным для случая невыполнения вышеприведенного условия.

Если схемой обработки забоя предусмотрено одновременное перемещение ИО в двух взаимно перпендикулярных направлениях (боковой рез + зарубка), то производительность второго насоса $Q2_{ki}$ рассчитывается как:

$$\begin{cases} Q2_{ki} = f(l)_i \cdot Q2_{k(i-1)} \text{ if } (Q2_{\min} \leq Q2_{ki} \leq Q2_{\max}) \cap (l_{ki} < l_k) \cap \\ \quad \cap R3 \neq 0; \\ Q2_{ki} = f(\alpha)_i \cdot Q2_{k(i-1)} \text{ if } (Q2_{\min} \leq Q2_{ki} \leq Q2_{\max}) \cap (\alpha_{ki} < \alpha_k) \cap \\ \quad \cap R2 \neq 0; \\ Q2_{ki} = 0 \text{ if } (l_{ki} \geq l_k \cap R3 \neq 0) \cup (\alpha_{ki} \geq \alpha_k \cap R2 \neq 0); \\ Q2_{ki} = Q2_{k(i-1)} \text{ otherwise,} \end{cases}$$

где

$f(\alpha)_i, f(l)_i$ - соответственно параметры корректировки текущего угла подъема стрелы α_i и величины ее выдвижения l_i в соответствии с требуемыми значениями α_{tr_i} и l_{tr_i} для выдерживания заданной траектории исполнительного органа:

$$\begin{cases} \alpha_{tr_i} = \beta_{ki} \frac{\alpha_k - \alpha_{k-1}}{\beta_k - \beta_{k-1}}; & f(\alpha)_i = 1 + \frac{\alpha_{tr_i} - \alpha_i}{\alpha_{tr_i}}; \\ l_{tr_i} = \beta_{ki} \frac{l_k - l_{k-1}}{\beta_k - \beta_{k-1}}; & f(l)_i = 1 + \frac{l_{tr_i} - l_i}{l_{tr_i}}. \end{cases}$$

Расчет параметров корректировки выполняет адаптивная компьютерная подсистема управления. Основным регулируемый параметр – скорость подачи ИО при его горизонтальном повороте, корректируемый параметр – скорость подачи при ИО при его подъеме либо выдвижении.

После расчета требуемых значений производительностей насосов, **блок 8** выполняет проверку условия окончания k -го режима разрушения забоя ($\beta_{ki} \geq \beta_k$). Если условие «истина», то алгоритм переходит на реализацию следующего $(k+1)$ -го режима разрушения. В противном случае реализуется $(i+1)$ -й шаг регулирования в k -м режиме обработки забоя.

Если в процессе реализации алгоритма условие $k \leq N_k$ (**блок 3**) перестает выполняться, **блок 9** начинает реализацию маневровых перемещений ИО для возврата его в исходное положение и присваивает номер $n = n + 1$ маневровому режиму.

Блок 10 выполняет проверку условия $n \leq N_n$, где N_n - номер последнего маневрового режима.

Блок 11 реализует совмещение работы двух насосов $N1$ и $N2$ на одну напорную магистраль ($R4 = 1$), а один из распределителей $R1, R2$ или $R3$ в соответствии от требуемого перемещения ИО (1- поворот стрелы в горизонтальной плоскости в исходное положение $\beta_{k=1}$; 2 – вертикальная подача ИО в исходное положение $\alpha_{k=1}$; 3 – фронтальная задвижка ИО в исходное положение $l_{k=1}$) устанавливается в положение 1 или -1.

Блок 12 подключает насосы Н1 и Н2 на максимальную производительность. После завершения маневровых перемещений ИО **блок 13** устанавливает электрораспределители в нейтральные положения и фиксируется завершение алгоритма подсистемы адаптивного компьютерного управления подачей ИО и окончание полного цикла обработки забоя.

Реализация предложенного алгоритма адаптивного компьютерного управления подачей стреловидного ИО ПК позволяет сократить число циклов нагружения исполнительного органа за полный цикл обработки забоя в 3 раза (за счет совмещения во времени режимов зарубки и бокового реза), снизить максимальные значения нагрузок в силовых системах комбайна в 1,5 – 2 раза и величину перебора породы, обусловленную ручным управлением, в 1,5 – 2,5 раза, а также обеспечить отработку управляющих воздействий системы интеллекта комбайна с учетом его инерционных свойств.

Внедрение результатов

Полученные результаты научных исследований приняты институтом ГП «Донгипроуглемаш» и ПАО «Донецксталь» - металлургический завод» в качестве рекомендаций при обосновании структуры и параметров систем подачи исполнительных органов проходческих комбайнов для повышенных темпов проходки, а также частично использованы ООО «Машиностроитель» при модернизации выпускаемых машин и внедрены Донецким национальным техническим университетом в учебный процесс и научно-исследовательскую работу.

Заключение

Разработана структура мехатронной системы подачи стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна, обеспечивающая возможность одновременной подачи режущих коронок в двух взаимно перпендикулярных направлениях с независимой регулировкой скоростей подачи. Предложен алгоритм адаптивного компьютерного управления рабочим процессом мехатронной системы подачи исполнительного органа, реализация которого позволяет повысить технический уровень проходческого комбайна по критериям по критериям производительности и ресурса.

Направление дальнейших исследований

Направлением дальнейших исследований является разработка теоретической базы для обоснования средств, методов и алгоритмов определения технического состояния элементов мехатронного проходческого комбайна для повышения темпов проходки подготовительных выработок.

Литература

- [1] А. Г. Лаптев. Перспективы развития горной промышленности на базе технического перевооружения шахт. // Уголь Украины. - 2002. - № 2-3. - С. 10-14.
- [2] Шабаев О.Е., Семенченко А.К., Хиценко Н.В., Степаненко Е.Ю. Мехатронная система подачи исполнительного органа проходческого комбайна с интеллектуальным модулем воспроизведения контура выработки // Проблеми експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок. - Донецьк, 2008-2009. - Вип. 102-103. - С. 404-414
- [3] Шабаев О.Е., Семенченко А.К., Хиценко Н.В., Степаненко Е.Ю. Оценка эффективности проходческого комбайна с интеллектуальной системой «управление - подача» исполнительного органа // Вісті Донецького гірничого інституту. - Донецьк , 2009. – №1 - С. 207-218.
- [4] Шабаев О.Е., Семенченко А.К., Хиценко Н.В., Семенченко Д.А., Степаненко Е.Ю. Повышение ресурса проходческих комбайнов с аксиальными коронками на основе регулятора нагрузки в системе подачи исполнительного органа // Наукові праці ДонНТУ, Серія: Гірничо-електромеханічна. - Донецьк, 2008. - Вип. 16 (142). - С. 265-274.