

УДК 622.232

**ПРИНЦИПЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ
МЕХАТРОННОЙ ГОРНОЙ ВЫЕМОЧНОЙ МАШИНЫ**

Шабает О.Е., Семенченко А.К., Хиценко Н.В.

Annotation

Substantiated the principles of construction the control system of mining machine, which supports the task performance of adaptive optimization of its working procedure, the estimate of actuator availability, the prediction of remaining life of structure components, the data storage about parameters of working procedure and failures, the support of operational safety, and coordination of working procedure of mining machine with functioning of another equipment of machine complex too.

HEADING MACHINE, WORKING PROCEDURE, MECHATRONIC APPROACH, ADAPTIVE OPTIMIZATION, PERFORMANCE, RESOURCE, ROCK EXCESS ALONG ROADWAY CONTOUR.

Аннотация

Обоснованы принципы построения системы интеллекта горной выемочной машины, обеспечивающей выполнение задач адаптивной оптимизации ее рабочих процессов, оценку работоспособности исполнительных механизмов, прогнозирование остаточного ресурса элементов конструкции, накопление данных о параметрах рабочих процессов и отказах, обеспечение безопасности эксплуатации, а также согласования рабочего процесса горной машины с функционированием другого оборудования комплекса машин.

ПРОХОДЧЕСКИЙ КОМБАЙН, РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС, МЕХАТРОННЫЙ ПОДХОД, АДАПТИВНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ, ТЕМП ПРОХОДКИ, РЕСУРС, ПЕРЕБОР ПОРОДЫ.

Анотація

Обґрунтовано принципи побудови системи інтелекту гірничої виїмкової машини, що забезпечує виконання завдань адаптивної оптимізації її робочих процесів, оцінку працездатності виконавчих механізмів, прогнозування залишкового ресурсу елементів конструкції, накопичення даних про параметри робочих процесів і відмови, забезпечення безпеки експлуатації, а також узгодження робочого процесу гірничої машини з функціонуванням іншого обладнання комплексу машин.

ПРОХІДНИЦЬКИЙ КОМБАЙН, РОБОЧИЙ ПРОЦЕС, МЕХАТРОННИЙ ПІДХІД, АДАПТИВНА ОПТИМІЗАЦІЯ, ТЕМП ПРОХОДКИ, РЕСУРС, ПЕРЕБІР ПОРОДИ.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами.
Одним из перспективных направлений развития угольной промышленности является максимальная концентрация горных работ («лава-шахта»), что

повысит эффективность горнодобывающих предприятий за счет сокращения объемов горных выработок и обслуживаемых машин и установок. Концентрация работ требует применения высокопроизводительной выемочной техники. Учитывая жесткие требования по габаритам и массе к этим машинам, экстенсивные пути их совершенствования только за счет повышения мощности приводов и прочности конструкций не могут обеспечить существенного роста показателей эффективности. Например, для проходческих комбайнов [1] традиционный способ повышения производительности за счет повышения массы и энерговооруженности при неизменных структурно-компоновочных схемах и способах управления для обеспечения темпов проходки на уровне 40 м/сут требует установки привода исполнительного органа мощностью не менее 1500 кВт при массе комбайна более 200 т. Одним из эффективных путей совершенствования горных машин является внедрение мехатронных принципов проектирования [2, 3], что требует решения актуальной научной проблемы создания теории рабочих процессов горных выемочных машин как мехатронных систем.

Анализ исследований и публикаций. Мехатронный подход предполагает высокую степень интеграции механической, электрической, гидравлической, электронной и информационной составляющих в конструкции горной машины [2, 3]. Таким образом, выемочная машина как мехатронный объект должна представляться как совокупность взаимосвязанных исполнительных механизмов и базовых корпусных элементов конструкции, изменяющих свое положение в пространстве под действием приводов ее силовых систем в результате компьютерного управления, обеспечивающего реализацию функций машины с максимальной эффективностью. Известны разработки [4, 5] в области создания и изучения рабочих процессов отдельных мехатронных узлов и модулей очистных и проходческих комбайнов. При этом недостаточно изученным остается вопрос их интеграции в единую мехатронную систему «выемочная машина». Информация, поступающая с интегрированных датчиков используется, в основном, для сбора данных о рабочих процессах («черный ящик»), а рабочие процессы машины автоматизируются на основе традиционных подходов. Получение нового качества мехатронной выемочной машины возможно только при внедрении новых принципов управления ее рабочими процессами на основе комплекса показаний интегрированных датчиков. Указанные принципы управления должны быть заложены в систему интеллекта горной машины [6] – программное обеспечение бортового компьютера для решения задачи многокритериальной оптимизации рабочего цикла по критериям производительности, энергопотребления и надежности с учетом ограничивающих факторов, а также прогнозирования отказов элементов на основе текущих данных о параметрах, характеризующих состояние элементов машины и свойства внешней среды, заданий, получаемых от оператора и внешней управляющей системы.

Постановка задачи. Необходима разработка принципов управления и структуры системы интеллекта мехатронной горной выемочной машины,

обеспечивающей новое качество реализации ее рабочих процессов на основе комплекса показаний интегрированных датчиков.

Изложение материала и результаты.

В соответствии с функциональным назначением система интеллекта выполняет следующие задачи:

1. *Адаптивная оптимизация рабочих процессов подсистем горной машины.* Для проходческого комбайна решаются задачи оптимизации:

- режимов разрушения забоя исполнительным органом – выбор рациональных значений скоростей подачи и вращения исполнительного органа для различных зон забоя;

- получения забоя заданного сечения (точность обработки) – управление исполнительным органом, обеспечивающее минимальный перебор породы по контуру выработки;

- диаграммы формирования импульсов питающего напряжения для преобразователей частоты питающего напряжения – выбор формы и периодичности импульсов, обеспечивающих максимальный КПД системы и отсутствие резонансных явлений в силовых системах;

- схемы обработки забоя – определение рациональной траектории движения исполнительного органа при обработке забоя.

2. *Оценка работоспособности исполнительных механизмов* – анализ соответствия технической характеристике показателей выполняемых операций и технического состояния элементов конструкции машины.

3. *Прогнозирование остаточного ресурса элементов конструкции горной машины* на основании анализа нагрузок за все время ее функционирования и истории замен соответствующих узлов.

4. *Накопление данных о параметрах рабочих процессов и отказах элементов конструкции горных машин* – сбор, статистическая обработка и архивация информации о ходе рабочих процессов машины во времени. Эти данные необходимы для развития теории рабочих процессов и анализа причин отказов элементов конструкции машины.

5. *Согласование рабочего процесса горной машины с функционированием другого оборудования комплекса машин.* Механизм автоматического определения необходимых рабочих параметров разнотипных машин, работающих в комплексе.

6. *Обеспечение безопасности эксплуатации машины.*

На основе сформулированных задач с учетом особенностей рабочего процесса горных машин, к системе интеллекта проходческого комбайна предъявляются требования:

- *открытость* – возможность дополнения и корректировки алгоритмов работы системы интеллекта в соответствии с решаемыми задачами;

- *многозадачность* – параллельное выполнение алгоритмов решения нескольких задач;

- *устойчивость к конфликтам задач* – корректная отработка противоречивых решений различных задач системы интеллекта;

- *устойчивость к отказам датчиков* – максимально возможное сохранение работоспособности машины при выходе из строя интегрированных в элементы ее конструкции датчиков;

- *самообучение и адаптивность* – корректировка действий системы интеллекта с учетом истории работы горной машины в условиях изменчивой внешней среды;

- *модульная структура* – алгоритм функционирования системы интеллекта должен состоять из максимально независимых функционально завершенных фрагментов (модулей), каждый из которых соответствует отдельной решаемой задаче;

- *работа в реальном времени* – взаимодействие с управляемыми силовыми системами горной машины в темпе процессов, протекающих в этих системах, своевременная (без задержек) подача команд управления;

- *возможность выбора критериев* и коэффициентов их весомости при оптимизации рабочих процессов горной машины.

На рис. 1 приведена структурная схема системы интеллекта горной машины. Согласно схеме система интеллекта управляется оператором и МП САУ комплекса машин на основе вектора \bar{D} , который выдается системой интеллекта и содержит данные о рабочем процессе машины.

Управляющее воздействие оператора \bar{UB}_o преобразуется информационной системой в вектор \bar{K}_o весомости критериев оптимизации рабочих процессов и вектор \bar{UB}'_o команд управления энергораспределителями и регуляторами силового привода горной машины. Аналогичные вектора \bar{UB}_{CAU} и \bar{K}_{CAU} поступают от МП САУ комплекса. Модуль согласования формирует вектор \bar{K} весомости критериев оптимизации рабочих процессов горной машины, при этом приоритет отдается вектору \bar{K}_{CAU} . Помимо управляющих воздействий на все модули системы интеллекта сенсорной системой подается вектор $\bar{\mu}'$ показаний датчиков, прошедших первичную обработку. Эти данные используются:

- модулями оптимизации – для самообучения и оценки эффективности управления рабочими процессами;

- модулем контроля отказов датчиков – для непосредственной и косвенной оценки работоспособного состояния интегрированных в элементы конструкции горной машины датчиков;

- модулем оценки работоспособности и безопасности – для фиксирования отказов элементов конструкции машины и отключения машины в опасных и аварийных режимах работы;

- модулем прогнозирования ресурса – для оценки остаточного ресурса элементов конструкции горной машины с целью прогнозирования их плановых замен.

Данные $\bar{\mu}'$ и \bar{D} сохраняются и статистически обрабатываются в модуле накопления данных («черный ящик»). Сохраненные значения и

результаты обработки выдаются в виде векторов \bar{D}_{MD} по запросам \bar{Z} , поступающим от оператора, наладчика, МП САУ комплекса и других модулей системы интеллекта.

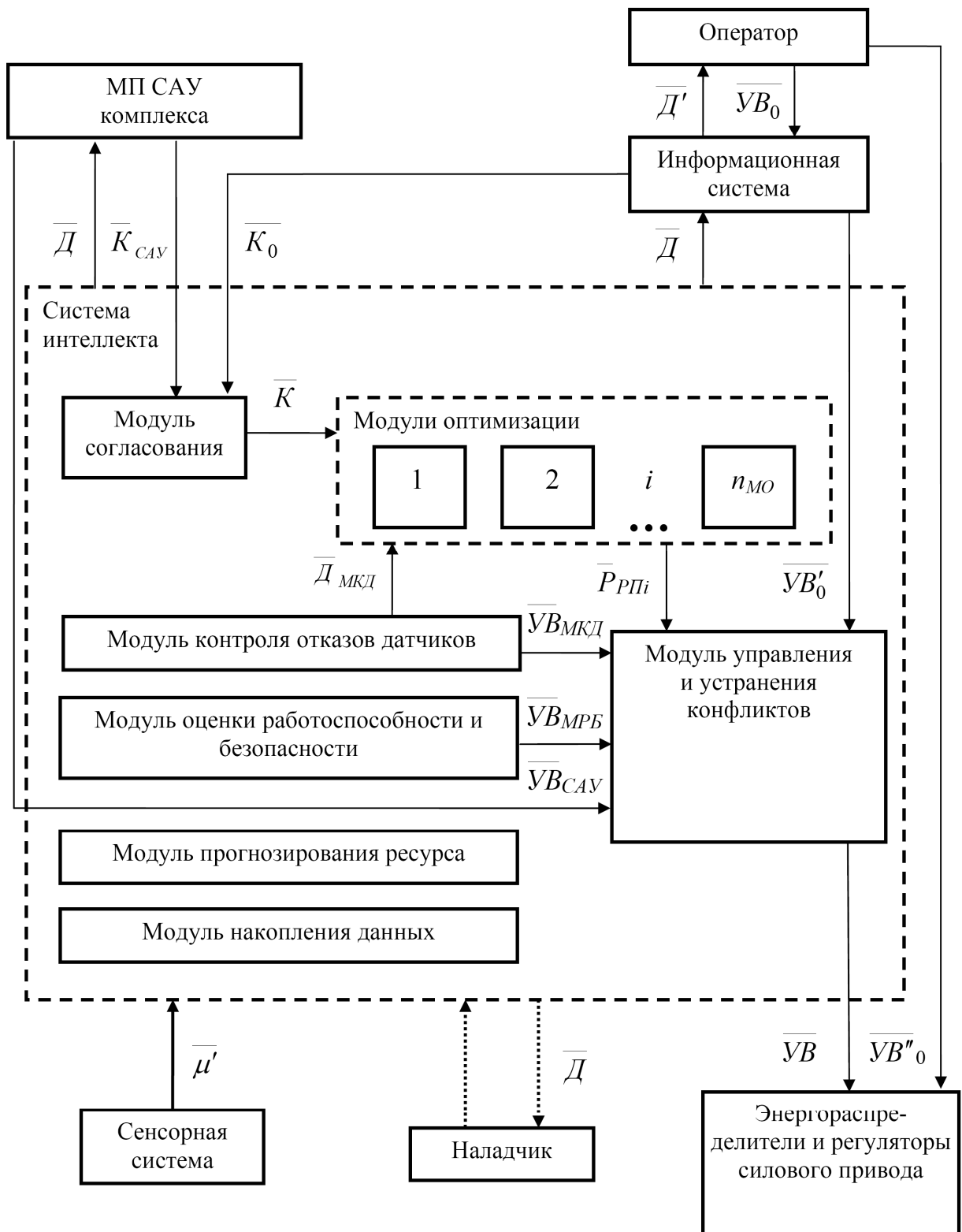


Рис. 1. Структурная схема системы интеллекта горной машины

Модули оптимизации выполняют определение вектора \bar{P}_{PI} рациональных параметров режима работы горной машины. При этом выполняется многокритериальная оптимизация по интегральному критерию с учетом вектора \bar{K} весомости частных критериев и ограничивающих факторов. Алгоритм оптимизации корректируется в соответствии с данными об отказах датчиков \bar{D}_{MKD} . В случае отказа датчиков, без которых нормальное функционирование машины невозможно, подается сигнал на остановку машины \bar{VB}_{MKD} и выводится сообщение оператору.

Модуль управления принимает управляющие воздействия (возможно противоречивые) от различных модулей и в соответствии с приоритетами модулей выполняет управление \bar{VB} энергораспределителями и регуляторами силового привода. В случае отказа системы интеллекта предусмотрена возможность непосредственного отключения силовых приводов оператором (управляющее воздействие \bar{VB}''_0).

Наладчиком по мере необходимости осуществляется настройка и корректировка программ и параметров, добавление модулей и т.д.

Математическая модель системы интеллекта горной машины может быть представлена в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{Y}_{MC} \{ \bar{K}, \bar{D}_{MC} \} = f_{MC} (\bar{X}_{MC} \{ \bar{\mu}', \bar{K}_0, \bar{K}_{CAU} \}, \bar{P}_{MC}), \\ \bar{Y}_{MO_i} \{ \bar{P}_{PI}, \bar{D}_{MO_i} \} = f_{MO_i} (\bar{X}_{MO_i} \{ \bar{\mu}', \bar{K}, \bar{D}_{MKD} \}, \bar{P}_{MO_i}), i = 1..n_{MO_j}; \\ \bar{Y}_{MKD} \{ \bar{VB}_{MKD}, \bar{D}_{MKD} \} = f_{MKD} (\bar{X}_{MKD} \{ \bar{\mu}' \}, \bar{P}_{MKD}), \\ \bar{Y}_{MRB} \{ \bar{VB}_{MRB}, \bar{D}_{MRB} \} = f_{MRB} (\bar{X}_{MRB} \{ \bar{\mu}' \}, \bar{P}_{MRB}), \\ \bar{Y}_{MPP} \{ \bar{D}_{MPP} \} = f_{MPP} (\bar{X}_{MPP} \{ \bar{\mu}' \}, \bar{P}_{MPP}), \\ \bar{Y}_{MD} \{ \bar{D}_{MD} \} = f_{MD} (\bar{X}_{MD} \{ \bar{\mu}', \bar{D}, \bar{z} \}, \bar{P}_{MD}), \\ \bar{Y}_{MU} \{ \bar{VB}, \bar{D}_{MU} \} = f_{MU} (\bar{X}_{MU} \{ \bar{P}_{PI}, \bar{VB}'_0, \bar{VB}_{MKD}, \bar{VB}_{MRB}, \bar{VB}_{CAU} \}, \bar{P}_{MU}), \end{array} \right.$$

где \bar{Y}_{MC} , \bar{Y}_{MO_i} , \bar{Y}_{MKD} , \bar{Y}_{MRB} , \bar{Y}_{MPP} , \bar{Y}_{MD} , \bar{Y}_{MU} – выходные вектора соответствующих модулей: модуля согласования, модулей оптимизации, модуля контроля отказов датчиков, модуля оценки работоспособности и безопасности, модуля прогнозирования ресурса, модуля накопления данных, модуля управления и устранения конфликтов;

\bar{D}_{MC} , ... \bar{D}_{MU} – вектора данных о рабочих процессах соответствующих модулей;

$f_{MC}()$, ... $f_{MU}()$ – вектор-функции, отражающие алгоритмы функционирования соответствующих модулей;

\bar{X}_{MC} , ... \bar{X}_{MU} – входные вектора соответствующих модулей;

\bar{P}_{MC} , ... \bar{P}_{MU} – вектора параметров соответствующих модулей.

В интегрированном виде математическая модель системы интеллекта может быть записана в виде:

$$\bar{f} = f_{СИ}(\bar{\mu}, \bar{P}_{СИ}),$$

где $\bar{\mu} \{ \bar{\mu}', \bar{K}_0, \bar{K}_{САУ} \}$ – вектор входных информационных и управляющих сигналов; $\bar{f} \{ \bar{УВ}, \bar{Д} \}$ – вектор управляющего воздействия на энергораспределители и регуляторы силового привода (отрабатывается встроенными в них МП САУ); $\bar{P}_{СИ} \{ \bar{P}_{МС}, \bar{P}_{МО_i}, \bar{P}_{МКД}, \bar{P}_{МРБ}, \bar{P}_{МПП}, \bar{P}_{МД}, \bar{P}_{МУ} \}$ – вектор параметров системы интеллекта.

Решение задач, стоящих перед системой интеллекта горной машины требует обоснования соответствующих критериев качества для оценки эффективности управления. При этом большинство задач (например, прогнозирование ресурса) имеют межотраслевой характер и достаточно хорошо проработаны в ряде работ. Особого внимания требуют специфические для горных машин задачи адаптивной оптимизации рабочих процессов их подсистем, реализующих разрушение горного массива. Помимо обоснования критериев оптимизации для этих задач требуется обосновать соответствующие целевые функции, позволяющие косвенно количественно оценить качество управления рабочими процессами комбайна. Указанные задачи отличаются для проходческих и очистных комбайнов. В качестве примера рассмотрим их решение применительно к проходческому комбайну избирательного действия, имеющему более сложные и разнообразные рабочие процессы.

Основными критериями эффективности проходческого комбайна являются эксплуатационная производительность (темп проходки) и ресурс. При эксплуатации проходческого комбайна могут возникать две типичные производственные ситуации:

1. Необходимость обеспечения максимальных темпов проходки выработки, что требует от комбайна максимальной производительности при допустимом уровне нагрузок в силовых системах.

2. Реализация требуемых темпов проходки (заданной теоретической производительности), при этом необходимо обеспечить максимально возможный ресурс комбайна за счет рационального нагружения силовых систем.

Таким образом, выбор критерия определяется производственной ситуацией, а система интеллекта, в свою очередь, должна обеспечивать эффективное управление по каждому из критериев.

Для проходческого комбайна избирательного действия эффективное управление процессом разрушения забоя требует решения следующих задач оптимизации рабочего процесса подсистемы «Исполнительный орган»:

1. Обеспечить оптимальные параметры режима разрушения забоя резами исполнительного органа. Управляемыми параметрами при этом являются:

- скорости подачи и вращения резцовой коронки, определяющие соотношения толщины и ширины стружки на резцах коронки;
- глубина зарубки и шаг фрезерования в отдельных режимах разрушения забоя.

Скорости подачи и вращения резцовой коронки определяют соотношения толщины и ширины стружки, оказывая влияние на удельные энергозатраты и формирование нагрузок на отдельных резцах коронки. Глубина зарубки и шаг фрезерования формируют сечение забоя, обрабатываемого коронкой. Величина и форма сечения определяет объемы породы, разрушаемой отдельными резцами, что влияет на удельные энергозатраты процесса разрушения и динамичность нагрузок в целом на исполнительном органе.

2. Реализовать рациональную схему обработки забоя заданного сечения (траекторию движения исполнительного органа при обработке забоя). Схема обработки забоя формируется:

- последовательностью режимов разрушения забоя (например, для аксиальной коронки – фронтальная зарубка, боковой рез одной или двумя коронками, вертикальная зарубка), определяющих количество циклов низкочастотной составляющей нагрузки в силовых системах комбайна за цикл обработки забоя;

- длины резов в каждом режиме цикла разрушения забоя исполнительным органом. Эти параметры совместно со скоростями подачи определяют длительность цикла обработки забоя, а дополнительно с обрабатываемыми сечениями – теоретическую производительность комбайна. Длины резов однозначно определяются последовательностью режимов обработки забоя заданного сечения с соответствующими глубинами зарубки и шагами фрезерования, поэтому их не следует рассматривать как оптимизируемые параметры;

- глубиной зарубки и шагом фрезерования в отдельных режимах разрушения забоя, которые определяют количество циклов обработки забоя на один метр проходки и оказывают влияние на точность воспроизведения контура выработки.

3. Обеспечить минимальный перебор породы по контуру выработки. На точность воспроизведения заданного контура выработки оказывают влияние:

- моменты времени подачи команд управления перемещениями исполнительного органа при обработке забоя, которые должны определяться с учетом возможной частичной потери устойчивости комбайна, ограниченной видимости в рабочей зоне и инерционностью системы «оператор-машина»;

- глубиной зарубки и шагом фрезерования, которые определяют размеры неровностей на боковых стенках выработки, соответствующих форме коронки.

4. Обеспечить своевременную подачу управляющих воздействий системы интеллекта, компенсировав инерционность энергомеханической системы комбайна. Поступающие от оператора управляющие воздействия

отрабатываются исполнительным органом с некоторым запаздыванием, обусловленным как инерционностью энергомеханической системы комбайна и его системы управления, так и скоростью отработки управляющих воздействий, обеспечивающей сглаживание переходных процессов. В результате несвоевременности выполнения управляющих воздействий возможны выходы режущего органа за требуемый контур выработки и разрушение забоя с нерациональными режимными параметрами, что оказывает существенное влияние на формирование нагрузок, особенно при переходе со слабой породы на крепкую. Обеспечить своевременную отработку управляющих воздействий возможно за счет:

- подачи управляющих воздействий с опережением по времени, что возможно ввиду повторяемости рабочих процессов комбайна от цикла к циклу. Это требует реализации адаптивных механизмов самообучения, позволяющих учесть изменчивость физико-механических свойств и структуры забоя в направлении проходки выработки;

- рациональной скорости отработки управляющих воздействий, обеспечивающей допустимый уровень нагрузок в переходных режимах работы комбайна при минимальной их длительности.

5. Выбрать рациональную диаграмму формирования импульсов и скорость регулирования для преобразователей частоты питающего напряжения, обеспечивающих отсутствие резонансных явлений и допустимый уровень переходных нагрузок в силовых системах.

В таблице 1 сгруппированы управляемые параметры рабочего процесса подсистемы «Исполнительный орган» проходческого комбайна, значения которых определяются системой интеллекта в процессе решения задач оптимизации. Все параметры представляют собой вектора, компоненты которых соответствуют последовательным режимам разрушения забоя исполнительным органом.

Как видно из таблицы, большинство параметров определяются в процессе решения различных задач оптимизации, что требует их совместного решения либо декомпозиции. Поэтому для решения задач оптимизации рабочего процесса подсистемы «Исполнительный орган» требуется анализ целевых функций для каждой задачи. Целевая функция является численным выражением критерия оптимизации, определяемого сложившейся производственной ситуацией (см. выше). Поэтому для каждой ситуации можно выделить соответствующую группу целевых функций для решения задач оптимизации.

Одновременное решение указанных задач затруднительно и нецелесообразно, так как среди них можно выделить первичные и вторичные, связанные и независимые. Возможно выполнить декомпозицию, предполагающую следующую последовательность решения задач:

1. Установление рациональных параметров режима разрушения забоя исполнительным органом для характерных зон забоя, имеющих различные физико-механические свойства. Одновременно решается задача выбора рациональной схемы обработки забоя. В качестве критериев оптимизации в

зависимости от производственной ситуации принимаются темп проходки или ресурс комбайна.

Таблица 1

Оптимизируемые параметры рабочего процесса подсистемы «Исполнительный орган» проходческого комбайна

| | | Задачи оптимизации | | | | |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|
| | | режима разрушения забоя | схемы обработки забоя | перебора породы | отработки управляющих воздействий | диаграммы формирования импульсов |
| Параметры оптимизации | Скорость подачи \bar{V}_n | + | | | | |
| | Угловая скорость коронки $\bar{\omega}$ | + | | | | |
| | Глубина зарубки \bar{B} | + | + | (+) | | |
| | Шаг фрезерования $\Delta\bar{H}$ | + | + | (+) | | |
| | Последовательность обработки забоя \bar{P} | | + | | | |
| | Опережение подачи управляющих воздействий $\Delta\bar{T}$ | | | + | + | |
| | Скорость отработки управляющих воздействий \bar{V}_y | | | (+) | (+) | + |
| | Значения ширины импульсов диаграммы напряжения \bar{D} | | | | | + |
| Критерии оптимизации | Обеспечение максимальных темпов проходки выработки | $V_{np}(\bar{X}) \rightarrow \max$ | | $\Delta y(\bar{X}) \rightarrow \rightarrow \min$ | $\Delta\bar{T} \rightarrow \rightarrow \min$ | $\bar{V}_y \rightarrow \rightarrow \min$ |
| | Реализация требуемых темпов проходки при максимально возможном ресурсе | $M_{y \max}(\bar{X}) \rightarrow \min$ | | | | |

Примечание. + - параметр влияет на результат оптимизации и определяется в ходе ее решения; (+) - параметр влияет на результат оптимизации, но определяется в ходе решения другой задачи

Оценку ресурса можно осуществлять (в относительных единицах) по величине накопленной повреждаемости [8]. В работе [9] установлено, что при показателе степени кривой усталости $m=9$ низкочастотная составляющая нагрузки, вызванная переходами из режима в режим разрушения забоя, оказывает определяющее влияние на накопленную повреждаемость в большинстве элементов конструкции. Это позволяет существенно упростить расчет накопленной за цикл обработки забоя повреждаемости, то есть вести его по известным максимальным и минимальным значениям нагрузки в каждом режиме с учетом только их последовательности при заданной схеме обработки забоя. Очевидно, чем ниже и равномернее будет нагрузка в элементах конструкции, тем ниже величина накопленной повреждаемости. Нагрузки в элементах конструкции комбайна формируются под действием вектора внешнего возмущения на исполнительном органе, компонентами которого являются проекции главного вектора системы сил на резцах и момент сопротивления на оси коронки.

Как известно, между проекциями главного вектора и моментом сопротивления существует корреляционная связь.

Таким образом, в качестве целевой функции при оптимизации по критерию ресурса может быть принят максимальный момент сопротивления на исполнительном органе за цикл обработки забоя.

2. Установление рациональных по критерию ресурса значений скорости отработки управляющих воздействий \bar{V}_y и ширин импульсов диаграммы напряжения \bar{D} при частотном регулировании приводного двигателя. При изменении частоты питающего напряжения в приводе возникает переходной процесс, сопровождающийся формированием динамических нагрузок. Очевидно, желательно иметь минимальное время переходного процесса при допустимом уровне нагрузок. Поэтому в качестве целевой функции следует принять скорость отработки управляющих воздействий $\bar{V}_y \rightarrow \max$ при ограничении коэффициента неравномерности нагрузки (момента сопротивления на валу двигателя) $k_{нд}(\bar{X}) < [k_{нд}]$.

3. Установление рациональных по критерию перебора породы значений опережения подачи $\Delta\bar{T}$ управляющих воздействий при обработке забоя вблизи заданного контура выработки. Глубина зарубки \bar{B} и шаги фрезерования $\Delta\bar{H}$, также влияющие на величину перебора, принимаются по результатам решения предыдущей задачи. Снижение перебора дает положительный эффект при решении любой из двух рассмотренных производственных задач. Поэтому в качестве целевой функции может быть принята величина выхода исполнительного органа за заданный контур выработки в каждом резе $\Delta y(\bar{X}) \rightarrow \min$.

4. Установление рациональных по критерию ресурса значений опережения подачи $\Delta\bar{T}$ управляющих воздействий при обработке забоя вблизи граничных зон между пластами забоя различной прочности. При

переходе с более слабой на более крепкую породу со значительными величинами скорости подачи и толщины среза на резцах возникают пиковые нагрузки, обусловленные инерционностью системы и запаздыванием изменения толщины среза относительно скорости подачи. Опережения в подаче управляющих воздействий позволяют исключить эти пиковые нагрузки. При определенных значениях $\Delta\bar{T}$ выход на более крепкую породу происходит уже с требуемыми значениями параметров режима разрушения. Дальнейшее увеличение $\Delta\bar{T}$ нецелесообразно, так как уже не приводит к снижению пиковой нагрузки в пределах рассматриваемого реза, в то же время увеличивается длительность цикла обработки забоя. Поэтому в качестве целевой функции следует принять опережение подачи управляющих воздействий $\Delta\bar{T} \rightarrow \min$ при соответствующем ограничении по максимальной нагрузке (моменту сопротивления на оси коронки) при переходе граничной зоны.

С учетом выполненной декомпозиции были разработаны математические модели и методы решения приведенных задач адаптивной оптимизации, реализация которых для проходческого комбайна типа КПД дает следующий эффект (установлен методом имитационного моделирования):

повышение темпов проходки в 1,4-2,5 раза за счет повышения уровня использования установленной мощности приводного двигателя и более эффективного по энергозатратам режима разрушения забоя в режиме бокового реза;

существенное повышение ресурса (по сравнению с автоматизированным регулированием нагрузки по току двигателя): для элементов металлоконструкции – до 50-132 раз, для элементов трансмиссии: подшипников - до 2,0 раз; зубчатых колес (контактная усталость) и коротких валов – в 1,1-5,6 раза; зубчатых колес (изгибная усталость) и длинных валов – в 2,6-28 раз;

снижение с 5-15 см практически до нуля перебора породы по контуру выработки, обусловленного сложностью визуального контроля, частичной потерей устойчивости машины и инерционностью исполнительного органа [10].

Выводы и направление дальнейших исследований.

Разработана структура и математическая модель системы интеллекта горной выемочной машины, обеспечивающей выполнение задач адаптивной оптимизации ее рабочих процессов, оценку работоспособности исполнительных механизмов, прогнозирование остаточного ресурса элементов конструкции, накопление данных о параметрах рабочих процессов и отказах, обеспечение безопасности эксплуатации, а также согласования рабочего процесса горной машины с функционированием другого оборудования комплекса машин. На примере проходческого комбайна избирательного действия показана высокая эффективность разработанных принципов адаптивной оптимизации рабочих процессов. В дальнейшем

необходима более детальная проработка алгоритмов функционирования модулей системы интеллекта.

Список литературы:

1. Семенченко А.К., Шабаев О.Е., Семенченко Д.А., Хиценко Н.В. Перспективы развития проходческих комбайнов // Горная техника 2006. Каталог-справочник. – С-Пб: ООО «Славутич». – С. 8-15.
2. Семенченко А.К., Шабаев О.Е., Семенченко Д.А., Хиценко Н.В. Принципы создания проходческих комбайнов как мехатронных систем // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-електромеханічна. Випуск 113. - Донецьк, 2006. - С. 238-243.
3. Стадник Н.И., Сергеев А.В., Кондрахин В.П. Мехатроника в угольном машиностроении // Горное оборудование и электротехника. – М.: 2007, - Вып. 4. – С.20-29.
4. Стадник Н.И., Семенченко А.К., Мезников А.В. и др. Экспериментальные исследования тяговых характеристик электрогидрораспределителей // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-електромеханічна. Вип. 14(127). – Донецьк, 2007. - С.248-257.
5. Шабаев О.Е., Семенченко А.К., Хиценко Н.В. Математическая модель рабочего процесса частотно регулируемого привода мехатронного выемочного комбайна. - Наукові праці Донецького національного технічного університету, Вип. 17 (157), Серія: Гірничо-електромеханічна, Донецьк, 2009. - С. 262-269.
6. Шабаев О.Е., Семенченко А.К., Степаненко Е.Ю., Хиценко Н.В. Оценка эффективности проходческого комбайна с интеллектуальной системой «управление-подача» исполнительного органа. - Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю, №1, 2009. – С. 207-218.
7. 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 Донецького національного технічного університету, Вип. 16 (142), Серія: Гірничо-електромеханічна, Донецьк, 2008. – С. 265-274.
8. Семенченко А.К., Кравченко В.М., Шабаев О.Е. Теоретические основы анализа и синтеза горных машин и процесса их восстановления как динамических систем. – Донецк: РВА ДонНТУ, 2002. – 302с.
9. Семенченко А.К., Шабаев О.Е., Каплюхин А.А., Семенченко Д.А., Мизин В.А. К определению исходных данных для расчета элементов горной машины на выносимость // Наукові праці ДонНТУ. - Донецьк: ДонНТУ, 2006. - Вип. 104. - С. 176-182.
10. 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: Збірник наукових праць. - Донецьк: ВАТ "НДІГМ імені М.М. Федорова", 2008-2009. - Вип. 102-103. - С. 404-414.