

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

АДАПТИВНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИКЛА ОБРАБОТКИ И ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РАЗРУШЕНИЯ ЗАБОЯ ПРОХОДЧЕСКИМ КОМБАЙНОМ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ПО КРИТЕРИЮ РЕСУРСА

O.Ye. Shabaev, A.K. Semenchenko, N.V. Khitsenko

ADAPTIVE OPTIMIZATION OF PROCESSING CYCLE AND PARAMETERS OF WORKING FACE BREAKING MODE BY MEANS OF HEADING MACHINE OF SELECTIVE ACTION BY RESOURCE CRITERION

Разработаны математическая модель и метод адаптивной оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя мехатронным проходческим комбайном избирательного действия по критерию ресурса его элементов конструкции при заданном темпе проходки. Теоретически показано, что реализация разработанного метода позволяет как повысить темп проходки по сравнению с обеспечиваемым при ручном управлении за счет некоторого снижения ресурса, так и существенно повысить ресурс в случае необходимости реализации более низкого темпа проходки.

Ключевые слова: *проходческий комбайн, рабочий процесс, мехатронный подход, адаптивная оптимизация, темп проходки, ресурс*

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Важнейшим условием реализации высоких возможностей новой добычной техники является обеспечение необходимого фронта работ, то есть своевременная подготовка очистных забоев. На сегодняшний день основной способ проведения подготовительных выработок – комбайновый. Проблема повышения технического уровня проходческих комбайнов представляется актуальной, ее решение обеспечит повышение конкурентоспособности отечественных горных машин и эффективности горного производства. Одно из направлений решения этой проблемы – повышение ресурса выемочной машины при обеспечении необходимых темпов проходки, диктуемых интересами горного производства. Особенность условий работы проходческих комбайнов заключается в наличии разброса прочностных характеристик разрушаемых пород даже в пределах одного забоя. В этих условиях максимально возможный ресурс комбайна можно обеспечить за счет рациональной нагрузки силовых систем на основе адаптивных алгоритмов управления рабочими процессами.

Анализ исследований и публикаций. Развитию мехатронных подходов к созданию горных машин посвящается все большее количество научных работ [1–3]. Необходимым условием эффективного функционирования мехатронной горной машины, обеспечивающим новое качество функционирования, является интеллектуализация управления рабочими процессами [4]. Именно интеллектуализация позволяет обеспечить эффективную адаптацию рабочего процесса горной машины к изменчивым условиям ее эксплуатации. В этих условиях структура и параметры мехатронной горной машины должны определяться на стадии проектирования совместно с обоснованием рациональных алгоритмов ее функционирования и управления. Этому фактору в

большинстве работ [2, 3, 5] не уделяется достаточное внимание. Характерной особенностью проходческих комбайнов является дополнительная возможность регулирования нагрузки за счет изменения параметров сечения забоя, разрушаемого коронкой. Вместе с тем, формирующие это сечение режимные параметры исполнительного органа – глубина зарубки и шаг фрезерования (высота разрушаемого слоя), определяются принятой схемой обработки забоя, которая выбирается оператором на базе личного опыта. В результате, несмотря на то, что система автоматики может обеспечить рациональные значения скоростей подачи и вращения исполнительного органа, часть режимных параметров имеют произвольные значения, что не позволяет реализовать рациональный режим. Данный недостаток может быть практически исключен путем совместной адаптивной оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя проходческим комбайном как мехатронным объектом [6].

Постановка задачи. На основании вышеизложенного, актуальной научной задачей является разработка метода адаптивной оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя мехатронным проходческим комбайном избирательного действия по критерию ресурса при заданном темпе проходки, для чего следует:

- формализовать забой, обрабатываемый исполнительным органом комбайна;
- разработать математическую модель оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя;
- разработать метод оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя по критерию ресурса при заданном темпе проходки;
- оценить эффективность разработанного метода.

Изложение материала и результаты. Формализация забоя, обрабатываемого исполнительным органом комбайна. Для разработки математической модели адаптивной оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя, необходимо получить математическое описание обрабатываемого исполнительным органом забоя с учетом его структурных особенностей. Как правило, забой состоит из нескольких пластов с различными физико-механическими свойствами. В результате привод резания

работает с неравномерной нагрузкой, интенсивность которой оценивается эквивалентной по нагреву двигателя мощностью.

Проходческие комбайны избирательного действия разрушают забой горизонтальными слоями при их оснащении как осевыми, так и аксиальными резцовыми коронками. При этом основной удельный вес в цикле обработки забоя имеют режимы бокового реза, значительно меньший – режимы вертикальной и фронтальной зарубки.

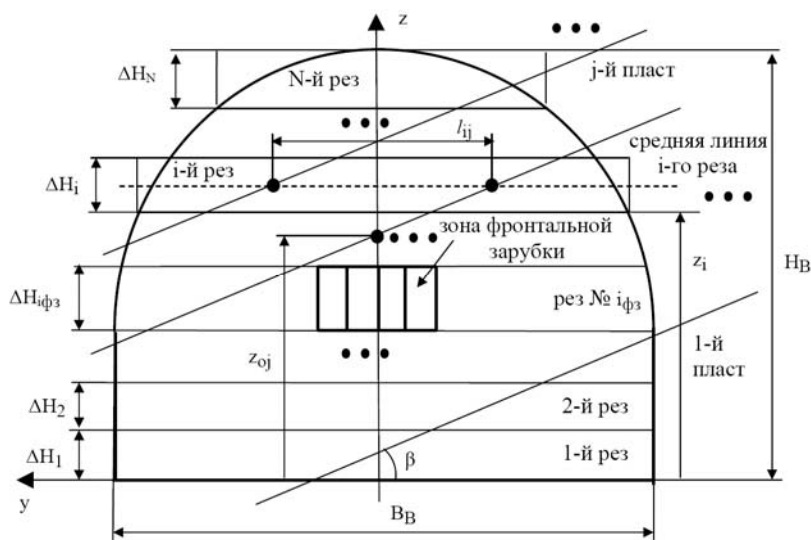


Рис. 1. Схема проходческого забоя

В связи с конструктивными особенностями, исполнительный орган с аксиальными коронками требует в процессе разрушения забоя дополнительного маневрирования с целью разрушения целиков породы, образующихся между коронками после фронтальной и вертикальной зарубки.

Все существующие схемы обработки забоя могут быть схематизированы (рис. 1) на основе следующих допущений:

1) забой условно разделяем на N горизонтальных слоев, каждый из которых разрушается в процессе соответствующего бокового реза. Высота i -го слоя равна шагу фрезерования в процессе i -го бокового реза ΔH_i ;

2) за счет рациональных режимов резания энергоемкость процесса разрушения при боковом резе и вертикальной зарубке в пласт породы изменяется незначительно, что в сочетании с примерно одинаковыми производительностями разрушения дает возможность при расчете эквивалентной по нагреву двигателя мощности считать, что весь рассматриваемый слой породы разрушается в режиме бокового реза;

3) в забое можно выделить $n_{пл}$ пластов породы с различными физико-механическими свойствами. Принимаем, что в пределах каждого реза пласты разрушаются последовательно (без смешивания в переходных зонах). Рассчитанная при таком допущении эквивалентная мощность будет несколько завышена,

что допустимо, так как приводит к более жесткому ограничению по нагреву двигателя;

4) один из слоев соответствует режиму фронтальной зарубки, поэтому его высота определяется параметрами коронки и глубиной зарубки;

5) фронтальная зарубка осуществляется в наиболее слабый пласт (как правило – угольный), а объем разрушаемой в этом режиме породы незначителен. Поэтому при расчете эквивалентной мощности за цикл обработки забоя считаем, что этот объем породы разрушается в режиме бокового реза.

Математическая модель оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя. Параметрами оптимизации являются [1]: B – глубина зарубки исполнительного органа; ΔH_i – шаги фрезерования и количество N горизонтальных резов; $V_{n_{ij}}, \omega_{ij}$ – скорости подачи и вращения коронки при разрушении j -го пласта в процессе i -го реза; $i_{фз}, n_{фз}$ – номер горизонтального слоя, в который осуществляется фронтальная зарубка и количество боковых резов, за которое вынимается данный слой; $V_{n_{езij}}, \omega_{езij}$ – скорости подачи и вращения коронки при вертикальной зарубке в j -й пласт i -го слоя.

Оценку ресурса можно осуществлять (в относительных единицах) по величине накопленной повреждаемости [7], рассчитываемой по амплитудам нагрузок

в элементах конструкции. 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:

$$M_{ij \max} / \bar{X} \Big|_{i|1 \dots N} \left(\max_{j|1 \dots n_{nl}} |M_{ij \max}| \right) \Big\} \Downarrow \min, \\ \min_{j|1 \dots n_{nl}} |M_{\text{ез}ij \max}| \Big\} \Downarrow \min,$$

где $M_{ij \max}$, $M_{\text{ез}ij \max}$ – максимальные моменты в трансмиссии при боковом резе и вертикальной зарубке по j -му пласту i -го слоя,

$$M_{ij \max} | M_{ij} k_{нчj} / B_{\text{р}} \div H_i \Big|_{1 \dots 2} k_{\text{вч}j} / B_{\text{р}} \div H_i \Big|;$$

$$M_{\text{ез}ij \max} | M_{\text{ез}ij} k_{нч\text{ез}j} / B_{\text{р}} \div H_i \Big|_{1 \dots 2} k_{\text{вч}\text{ез}j} / B_{\text{р}} \div H_i \Big|;$$

где $k_{нчj} / 0$, $k_{\text{вч}j} / 0$, $k_{нч\text{ез}j} / 0$, $k_{\text{вч}\text{ез}j} / 0$ – функции коэффициентов неравномерности низко- и высокочастотной составляющих момента сопротивления на валу двигателя от параметров режима разрушения забоя при разрушении j -го пласта в процессе i -го бокового реза и i -й вертикальной зарубки соответственно; M_{ij} , $M_{\text{ез}ij}$ – средние моменты в трансмиссии при боковом резе и вертикальной зарубке по j -му пласту i -го слоя,

$$M_{ij} | \frac{N_{ij}}{\omega_{ij} \xi u_p}; \quad M_{\text{ез}ij} | \frac{N_{\text{ез}ij}}{\omega_{\text{ез}ij} \xi u_p};$$

ξ , u_p – к.п.д. и передаточное число редуктора привода резания; $B_{\text{р}}$ – глубина зарубки коронок в забой с учетом кинематики стреловидного исполнительного органа.

При разработке математической модели оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя необходимо учитывать следующие ограничения:

- по условию обеспечения заданного темпа проходки V_{np} ;
- по условию необходимой высоты выработки;
- рез, соответствующий фронтальной зарубке исполнительного органа;
- на толщину стружки по радиальному вылету резца;
- на глубину зарубки и шаг фрезерования, обусловленные допустимым уровнем динамической нагрузки

на исполнительном органе и рациональным уровнем энергозатрат, а также, конструкцией коронки;

– на скорость вращения коронки, обусловленную абразивностью разрушаемой породы;

– по нагреву двигателя привода резания, причем, из-за небольшой длительности цикла обработки забоя возможна перегрузка двигателя в некоторых режимах разрушения. При этом необходимо учитывать эквивалентную по нагреву двигателя мощность за цикл обработки забоя $N_{\text{эв}}$, которая не должна быть больше номинальной мощности двигателя с учетом режима его работы $N_{\text{ном}}$;

– по устойчивому моменту двигателя в режимах бокового реза и вертикальной зарубки.

Таким образом, математическая модель оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя по критерию ресурса имеет вид:

$$\left[\text{Найти } \bar{X} \{ B, \div H_i, N, V_{n_{ij}}, \omega_{ij}, i_{\text{фз}}, n_{\text{фз}}, V_{\text{н\text{ез}ij}}, \omega_{\text{ез}ij} \}, \right. \\ \left. \text{при котором } M_{ij \max} / \bar{X} \Big|_{i|1 \dots N} \left(\max_{j|1 \dots n_{nl}} |M_{ij \max}| \right) \Big\} \Downarrow \min, \right. \\ \left. \min_{j|1 \dots n_{nl}} |M_{\text{ез}ij \max}| \Big\} \Downarrow \min, \right. \\ \left. \text{при ограничениях } i|1 \dots N, j|1 \dots n_{nl} \Big\} \right. \\ \left. \frac{k_M B}{N \sum_{i|1}^{n_{nl}} t_{ij} 2 + t_{\text{ез}i}} \Big| V_{np}; \right. \\ \left. \sqrt{\frac{N n_{nl} t_{ij} N_{ij}^2}{i|1 j|1}} / \frac{N n_{nl} t_{ij}}{i|1 j|1} \Omega N_{\text{ном}}; \right. \\ \left. N_{ij} | B \div H_i V_{n_{ij}} W_j / B, \div H_i, V_{n_{ij}}, \omega_{ij} \Big\} \right. \\ \left. N_{\text{ез}ij} | V_{\text{н\text{ез}ij}} S_{\text{ез}} / B_{\text{р}} \div H_i, \bar{P}_{uo} \Big\} \omega_{\text{ез}ij} / B_{\text{р}} V_{\text{н\text{ез}ij}}, \omega_{\text{ез}ij} \Big\} \right. \\ \left. M_{ij} | \frac{N_{ij}}{\omega_{ij} \xi u_p}; \right. \\ \left. M_{ij} \Omega \frac{M_{кр} / U_{\phi} / U_n \Big\} }{k_{нчj} / B_{\text{р}} \div H_i \Big|_{1 \dots 2} k_{\text{вч}j} / B_{\text{р}} \div H_i \Big\}} \right. \\ \left. \frac{N_{\text{ез}ij}}{\omega_{\text{ез}ij} \xi u_p} \Omega \frac{M_{кр} / U_{\phi} / U_n \Big\} }{k_{нч\text{ез}j} / B_{\text{р}} \div H_i \Big|_{1 \dots 2} k_{\text{вч}\text{ез}j} / B_{\text{р}} \div H_i \Big\}} \right. \\ \left. \frac{N}{i|1} \div H_i | H_B; \quad \div H_{i \text{фз}} | \div H_o / B, \bar{P}_{uo} \Big\} \right. \\ \left. \frac{2\phi V_{n_{ij}}}{\omega_{ij}} \Omega S_{\text{max}}; \quad \frac{2\phi V_{\text{н\text{ез}j}}}{\omega_{\text{ез}j}} \Omega S_{\text{max\text{ез}}}; \right. \\ \left. B_{\text{min}} \Omega B \Omega B_{\text{max}}, \quad \div H_{\text{min}} \Omega \div H_i \Omega \div H_{\text{max}}; \right. \\ \left. \omega_{ij}, \omega_{\text{ез}j} \Omega \omega_{\text{max}j}; \right. \\ \left. N, i_{\text{фз}}, n_{\text{фз}} \text{ 4 целые, } N \Big\} 0, \quad 0 \Big\} i_{\text{фз}} \Omega N. \right.$$

Здесь: $W_j/0$, $W_{\text{вз}j}/0$ – зависимости удельных энергозатрат от параметров процесса разрушения j -го пласта в режимах бокового реза и вертикальной зарубки; k_m – коэффициент машинного времени комбайна; N_{ij} , $N_{\text{вз}ij}$ – мощности, развиваемые приводом резания при разрушении j -го пласта в процессе i -го бокового реза и i -й вертикальной зарубки; $\div t_{\text{вз}i}$, $\div t_{\text{ф}z}$ – длительности вертикальной зарубки в i -й слой и фронтальной зарубки; t_{ij} – длительность разрушения j -го пласта в процессе i -го реза; $M_{\text{кр}}$ – критический момент двигателя; $U_{\text{ф}}$, U_n – фактическое и номинальное напряжения питающей сети; k_d – коэффициент преобразования динамической системой двигателя высокочастотной составляющей момента сопротивления на валу двигателя; $S_{\text{вз}}/0$ – функция площади проекции сечения забоя, разрушаемого коронкой, на плоскость, перпендикулярную направлению подачи; $\div H_o/0$ – функция высоты слоя, соответствующего фронтальной зарубке исполнительного органа, от глубины зарубки и параметров коронки $\bar{P}_{\text{ио}}$; s_{max} , $s_{\text{maxвз}}$ – максимальная подача за оборот коронки по радиальному вылету резца в режимах бокового реза и вертикальной зарубки; B_{min} , B_{max} , $\div H_{\text{min}}$, $\div H_{\text{max}}$ – пределы допустимых значений глубины зарубки исполнительного органа в забой и высоты разрушаемого слоя (определяются конструкцией исполнительного органа); $\omega_{\text{max}j}$ – максимальная скорость вращения коронки, при которой обеспечиваются приемлемые интенсивность абразивного износа и искрообразование на резах при разрушении породы j -го пласта.

Функции $W_j/0$, $W_{\text{вз}j}/0$, $k_{\text{иц}j}/0$, $k_{\text{ицвз}j}/0$, $k_{\text{вц}j}/0$, $k_{\text{вцвз}j}/0$ определяются путем самообучения (во время наладки комбайна в конкретном забое путем натурального эксперимента); функция $y_{\text{кв}}/z0$ задается оператором в зависимости от формы сечения выработки; функции $S_{\text{вз}}/0$, $\div H_o/0$ определяются конструкцией исполнительного органа и могут быть заданы еще на этапе проектирования комбайна; значения коэффициента машинного времени k_m и номинальной мощности двигателя $N_{\text{ном}}$ уточняются в процессе эксплуатации комбайна.

Метод оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя. Эффективное решение разработанной математической модели оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения по критерию ресурса при заданном темпе проходки предполагает выполнение следующих требований:

– обеспечение заданного темпа проходки с учетом фактического значения коэффициента машинного времени комбайна;

– обеспечение равномерной загрузки привода по максимальному моменту в каждом режиме цикла при максимально возможной глубине зарубки;

– обеспечение эквивалентной по нагреву мощности приводного двигателя за цикл обработки забоя не более номинальной;

– рассмотрение альтернатив регулирования нагрузки как за счет высоты слоя, так и за счет скоростей подачи и вращения коронок.

Алгоритм оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя:

1. Выбор глубины зарубки осуществляется с учетом ограничения максимального момента в приводе в режиме вертикальной зарубки заданной допускаемой величиной $M_{\text{max.дон}}$. При этом считается, что зарубка осуществляется в наиболее слабый пласт слоя.

2. Выбор максимально возможных значений подачи за оборот и толщины разрушаемого слоя осуществляется по условию, что средний момент в приводе не превышает устойчивый момент двигателя, а максимальный – заданной допускаемой величины $M_{\text{max.дон}}$. Возможны варианты: в первую очередь подбирается значение толщины слоя, а затем подача за оборот ($\Delta H \rightarrow s$), либо наоборот ($s \rightarrow \Delta H$). Толщина слоя принимается минимальной из значений, полученных для пластов, попадающих в рассматриваемый слой.

3. Подбор толщины слоев в соответствии с заданной высотой выработки. В случае, если высота выработки превышает заданную более, чем на допустимую величину $t_{\text{кв}}$, снижается значение допускаемого момента и осуществляется переход на этап 1.

4. Регулирование мощности двигателя за счет уменьшения частоты его вращения. В случае необходимости регулирования, для каждого слоя и пласта забоя осуществляется снижение частоты вращения коронки до величины, обеспечивающей текущую мощность, но не более максимального значения, при котором эквивалентная мощность не превышает номинальную. В случае, если регулирование частоты вращения коронки не предусмотрено, это достигается постепенным снижением допускаемого момента.

5. Анализ значений эквивалентной мощности и темпа проходки, и, в случае их превышения над заданными значениями, снижение значения $M_{\text{max.дон}}$ и корректировка параметров цикла обработки и режима работы исполнительного органа (переход этап 1).

Оценка ресурса наиболее нагруженных подсистем комбайна – трансмиссии привода резания и металлоконструкций исполнительного органа комбайна. Как показано в работе [5], относительное изменение ресурса может быть оценено по величине накопленной повреждаемости, рассчитываемой по амплитудным значениям нагрузки в рассматриваемом элементе конструкции. Для трансмиссии привода резания в качестве нагрузки был принят момент сопротивления на валу двигателя. Данная величина также коррелирует с проекциями вектора внешнего возмущения на исполнительном органе, что позволяет использовать

ее для косвенной оценки ресурса металлоконструкций исполнительного органа. Сравнение принципов управления по критерию ресурса комбайна осуществлялось по величине накопленной повреждаемости на метр проходки выработки, рассчитываемой по формулам:

– для привода резания

$$НП_{пр} | \frac{1}{B} \left(\frac{N n_{nl} t_{ij} \overline{\sigma}_{ij} u_p}{2\phi} M_{max ij}^m \right)^2 \cdot 2 \frac{N + H_i u_p}{s_{взj} j | 1 \dots n_{nl}} \min | M_{взmax ij}^m |^m \};$$

– для металлоконструкций исполнительного органа (приближенный расчет по максимальным значениям нагрузки в каждом режиме)

$$НП | \frac{1}{B} \left(\frac{N}{i | 1 j | 1 \dots n_{nl}} \max | M_{max ij}^m \right)^2 \cdot 2 \frac{N}{i | 1 j | 1 \dots n_{nl}} \min | M_{взmax ij}^m |^m \};$$

где m – показатель степени кривой усталости.

Описанный алгоритм был реализован в системе Mathcad в виде расчетного листа, позволяющего по заданным условиям эксплуатации комбайна (темпу проходки, параметрам привода и исполнительного органа) анализировать накопленную повреждаемость при применении различных принципов управления.

Анализ эффективности адаптивной оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя. Установление эффекта от применения разработанного алгоритма адаптивной оптимизации выполнялось для комбайна типа КПД в следующих условиях эксплуатации:

– площадь сечения выработки в проходке 15 м²;

– смешанный забой из 3-х пластов (порода почвы, уголь, порода кровли) с примерно равными долями пластов. Рассмотрены сочетания прочности пород (кровля-почва-уголь, в относительных единицах, за базу принята максимальная прочность по технической характеристике комбайна): а) 1-1/4-1/8; б) 1/2-1/4-1/8; в) 1/4-1/4-1/8;

– угол падения угольного пласта 12 град, мощность пласта 1,3 м.

Были рассмотрены альтернативные принципы управления:

– адаптивное – с учетом прогнозирования нагрузки привода в пределах цикла обработки забоя, при этом за счет кратковременных перегрузок привода по моменту и мощности может быть обеспечено более полное использование установленной мощности привода при равномерной нагрузке;

– автоматизированное – с регулированием скорости подачи исполнительного органа по току статора двигателя. При этом момент двигателя не превышает

номинального значения, заданного установкой аппаратуры автоматики. Такой принцип применяется в существующих регуляторах нагрузки;

– ручное – управление машинистом. Скорость вращения коронок при этом не изменяется, а скорость подачи может снижаться при обработке прочной породы за счет сброса рабочей жидкости через предохранительный клапан гидросистемы. В отличие от автоматизированного, при данном принципе управления есть возможность перегружать приводной двигатель (принята возможность перегрузки в 1,3 раза). Чтобы учесть неточность интуитивного управления комбайном, эквивалентная мощность привода ограничивалась 80% от номинальной.

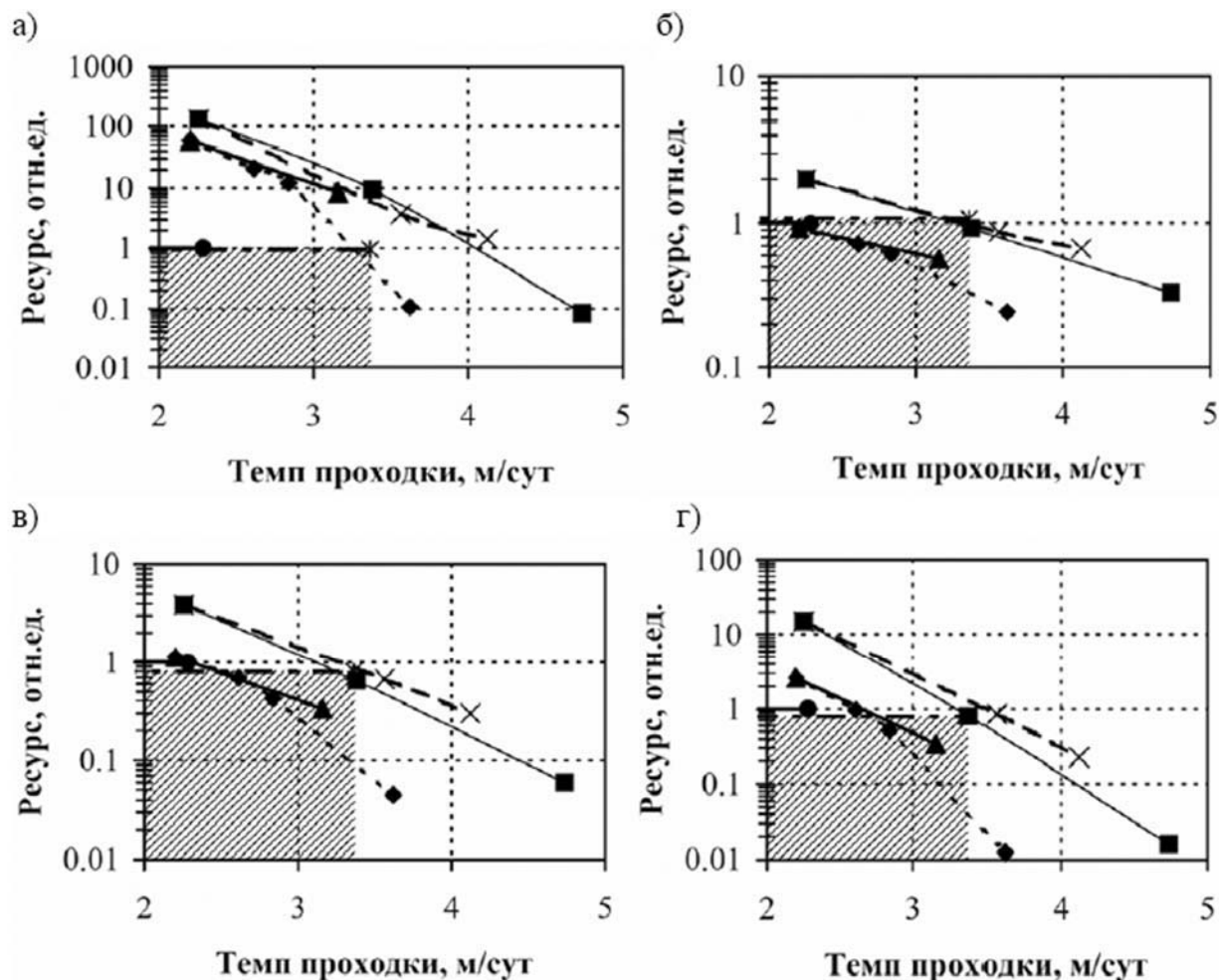
Для учета неточности обработки контура выработки, характерной для автоматизированного и ручного принципов управления, при их анализе был принят перебор по контуру выработки $\div_{кв} | 0,05$ м [4].

Параметры исполнительного органа и его привода приняты в соответствии с технической характеристикой комбайна КПД. Для оптимизации были заданы функции $W_j | 0$, $W_{взj} | 0$, $k_{нчj} | 0$, $k_{вчj} | 0$, $k_{нчвзj} | 0$ и $k_{вчвзj} | 0$, полученные для этого комбайна расчетным путем по данным резания углещементного и породного блоков.

На рис. 2 приведены результаты моделирования относительного изменения ресурса от реализуемого темпа проходки при различных принципах управления комбайном. Крайняя правая точка на всех кривых соответствует максимальному темпу проходки при заданном принципе управления. Относительное изменение ресурса рассчитывалось как отношение накопленной повреждаемости при автоматизированном управлении к накопленной повреждаемости при заданном принципе управления. Таким образом, определялось относительное увеличение ресурса элементов конструкции при заданном принципе управления по сравнению с работой с автоматизированным регулированием нагрузки по току двигателя. Зависимость относительного изменения ресурса при ручном управлении комбайном имеет вид заштрихованной области, верхняя граница которой соответствует максимальной квалификации оператора. На рис. 2 (вдоль верхней границы левее) находятся точки, соответствующие работе с более длительными простоями при максимально возможной при ручном управлении технической производительности комбайна.

Анализ результатов моделирования показал:

– при максимальном для ручного управления темпе проходки, адаптивный принцип управления позволяет получить тот же ресурс привода при существенно большем ресурсе металлоконструкций исполнительного органа. При работе с пониженным темпом проходки, адаптивный принцип позволяет существенно повысить ресурс всех элементов конструкции комбайна за счет более рационального режима нагрузки;



- Принципы управления:
- ◆ - адаптив., $\Delta H \rightarrow s$, $\omega = \text{var}$
 - ✕ - адаптив., $s \rightarrow \Delta H$, $\omega = \text{const}$
 - ■ - адаптив., $s \rightarrow \Delta H$, $\omega = \text{var}$
 - ● - автом., $\Delta H \rightarrow s$, $\omega = \text{const}$
 - ▲ - адаптив., $\Delta H \rightarrow s$, $\omega = \text{const}$
 - * - ручное, $s \rightarrow \Delta H$, $\omega = \text{const}$

– адаптивный принцип управления, по сравнению с ручным управлением, позволяет существенно повысить ресурс элементов конструкции комбайна при равных темпах проходки. Минимальное повышение ресурса (при максимально эффективном ручном управлении), для комбайна типа КПД, в представительных условиях эксплуатации составляет для элементов металлоконструкции – в 10–100 раз, для элементов трансмиссии: подшипников – в 1–2 раза; зубчатых колес (контактная усталость) и коротких валов – в 1–3 раза; зубчатых колес (изгибная усталость) и длинных валов – в 1–15 раз;

– установлено, что при адаптивном принципе управления комбайном повышение темпа проходки приводит к существенному снижению ресурса эле-

ментов конструкции комбайна. Поэтому работа комбайна с завышенной технической производительностью и последующими простоями является нецелесообразной. Адаптивный принцип управления позволяет существенно повысить темп проходки по сравнению с ручным управлением, что сопровождается некоторым снижением ресурса;

– для рассмотренных условий адаптивный алгоритм управления, реализующий разрушение забоя с максимальными скоростями подачи ($s \downarrow \div H$), более эффективен по критерию ресурса, чем с максимальными сечениями ($\div H \downarrow s$);

– автоматизированный и ручной (при высокой квалификации машиниста) принципы управления дают примерно одинаковый ресурс элементов конст-

рукции комбайна, однако ручное управление, за счет возможности кратковременных перегрузок, позволяет осуществить более высокий темп проходки;

– адаптивный принцип управления, по сравнению с автоматизированным, позволяет существенно повысить ресурс элементов конструкции комбайна при равных темпах проходки. Повышение ресурса для комбайна (типа КПД) в представительных условиях эксплуатации составляет для элементов металлоконструкции – до 50–132 раз, для элементов трансмиссии: подшипников – до 2 раз; зубчатых колес (контактная усталость) и коротких валов – до 3 раз; зубчатых колес (изгибная усталость) и длинных валов – до 15 раз;

– для рассмотренных условий регулирование скорости вращения коронки приводит к многократному снижению ресурса элементов конструкции комбайна при незначительном увеличении темпа проходки. Это объясняется увеличением момента при выравнивании мощности за счет снижения частоты вращения приводного двигателя, в результате чего комбайн работает в различных режимах при неравномерной средней нагрузке.

Выводы и направление дальнейших исследований. Адаптивная оптимизация цикла обработки и параметров режима разрушения забоя исполнительным органом проходческого комбайна позволяет регулировать темп проходки выработки и ресурс комбайна. При этом возможна как работа с повышенным темпом проходки по сравнению с обеспечиваемым при ручном управлении за счет некоторого снижения ресурса, так и существенное повышение ресурса в случае необходимости реализации более низкого темпа проходки. Реализация адаптивной оптимизации требует оснащения комбайна интеллектуальной системой управления и системой датчиков, интегрированных в элементы силовых систем. Установлено, что при адаптивном принципе управления комбайном повышение темпа проходки приводит к существенному снижению ресурса элементов конструкции комбайна. Поэтому работа комбайна с завышенной технической производительностью и последующими простоями является нецелесообразной.

Регулирование скорости вращения коронки приводит, при незначительном увеличении темпа проходки, к многократному снижению ресурса элементов конструкции комбайна, вследствие работы комбайна в различных режимах при неравномерной средней нагрузке.

Список литературы

1. Системное представление горной машины как мехатронного объекта / Семенченко А.К., Шабает О.Е., Семенченко Д.А., Хиценко Н.В. // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк, 2007. Вип. 13 (123). – С. 125–131.
2. Принципы мехатроники при проектировании горных машин / Стадник Н.И., Сергеев А.В., Мезников

А.В., Кондрахин В.П. // Матер. междунар. конф. „Форум горняков – 2007“.- Д.: НГУ, 2007. – С. 7–17.

3. Разработка структурной модели мехатронных подсистем привода проходческих комбайнов / Горбатов П.А., Лысенко Н.М., Лысенко М.Н., Сергеев А.В. // Горное оборудование и электромеханика: науч. техн. сб. – 2009. – №11. – С. 17–22.

4. Мехатронная система подачи исполнительного органа проходческого комбайна с интеллектуальным модулем воспроизведения контура выработки. / Шабает О.Е., Семенченко А.К., Хиценко Н.В., Степаненко Е.Ю. // Проблеми експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок: Зб. наук. праць. – Донецьк: ВАТ "НДІГМ ім. М.М. Федорова". – 2008–2009. – Вип. 102–103. – С. 404–414.

5. Горбатов П.А., Лысенко Н.М., Лысенко М.Н. Концептуальные положения и математическая модель оптимального проектирования мехатронных подсистем привода проходческих комбайнов // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – №10. – С. 34–40.

6. Шабает О.Е., Семенченко А.К., Хиценко Н.В. Принципы интеллектуализации рабочих процессов мехатронной горной выемочной машины // Вісті Донецького гірничого ін-ту. – 2010. – №1. – С. 207–213.

7. Семенченко А.К., Кравченко В.М., Шабает О.Е. Теоретические основы анализа и синтеза горных машин и процесса их восстановления как динамических систем. – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2002. – 302 с.

Розроблено математичну модель і метод адаптивної оптимізації циклу обробки і параметрів режиму руйнування вибою мехатронним прохідницьким комбайном виборчої дії за критерієм ресурсу його елементів конструкції при заданому темпі проходки. Теоретично показано, що реалізація розробленого методу дозволяє як підвищити темп проходки у порівнянні із забезпечуваним при ручному управлінні за рахунок деякого зниження ресурсу, так і істотно підвищити ресурс у разі потреби реалізації нижчого темпу проходки.

Ключові слова: прохідницький комбайн, робочий процес, мехатронний підхід, адаптивна оптимізація, темп проходки, ресурс

Mathematical model and approach of adaptive optimization of processing cycle and parameters of working face breaking mode by means of mechatronic heading machine of selective action by resource criterion have been developed. In theoretical way it has been demonstrated that the realization of developed approach allows both: to raise performance as compared with hand control at the cost of resource retrogression and to raise resource essentially in case of need of lower performance realization.

Keywords: heading machine, working procedure, mechatronic approach, adaptive optimization, performance, resource

Рекомендовано до публікації д. т. н. В.П. Франчуком 21.04.10.