

УДК 622.232

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

Шабает О.Е., Семенченко А.К., Хиценко Н.В. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Аннотация. 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, режим разрушения, темп проходки, адаптивная оптимизация

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 основным способом проведения подготовительных выработок является комбайновый. Проблема повышения технического уровня проходческих комбайнов является 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 рационального нагружения силовых систем на основе адаптивных алгоритмов управления рабочими процессами.

Анализ исследований и публикаций.

Развитию мехатронных подходов к созданию горных машин уделяется все большее количество научных работ [1, 2, 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 не смотря на то, что система автоматизации 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 проблемой 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 темпа 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. 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.

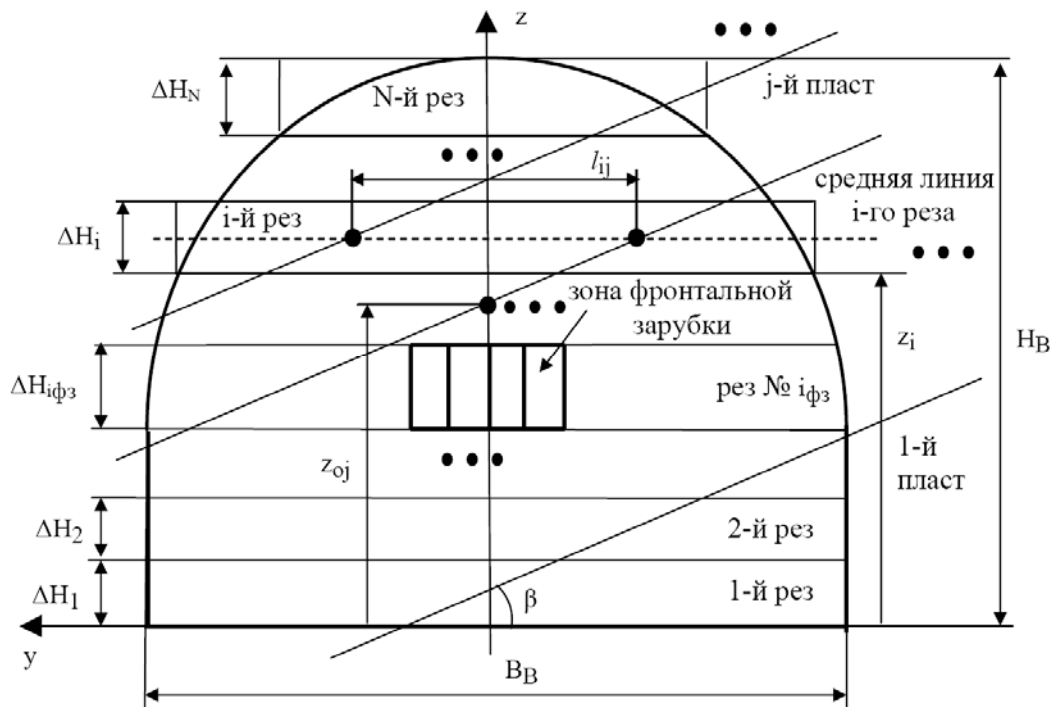


Рис. 1. Схема проходческого забоя

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_{nij}, ω_{ij} - скорости подачи и вращения коронок 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; $V_{nвзij}, \omega_{взij}$ - скорости подачи и вращения коронок 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:

$$M_{\eta \max}(\bar{X}) = \max_{i=1..N} \left[\max_{j=1..n_{nl}} (M_{ij \max}), \min_{j=1..n_{nl}} (M_{\text{вз}ij \max}) \right] \rightarrow \min,$$

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

$$M_{ij \max} = M_{ij} k_{\text{нч}j}(B'_{ij}, \Delta H_i) (1 + k_{\text{вч}j}(B'_{ij}, \Delta H_i));$$

$$M_{\text{вз}ij \max} = M_{\text{вз}ij} k_{\text{нчвз}j}(B'_{ij}, \Delta H_i) (1 + k_{\text{вчвз}j}(B'_{ij}, \Delta H_i));$$

$k_{\text{нч}j}()$, $k_{\text{вч}j}()$, $k_{\text{нчвз}j}()$, $k_{\text{вчвз}j}()$ - функции коэффициентов неравномерности низкочастотной 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} , $M_{\text{вз}ij}$ - средние моменты в трансмиссии при боковом резе и вертикальной зарубке по j-му

пласту i-го слоя, $M_{ij} = \frac{N_{ij}}{\omega_{ij} \eta \cdot u_p}$; $M_{\text{вз}ij} = \frac{N_{\text{вз}ij}}{\omega_{\text{вз}ij} \eta u_p}$; η , u_p - к.п.д. и передаточное

число редуктора привода резания; B'_{ij} - 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:

- ограничение по условию обеспечения заданного темпа проходки V_{np} ;
- ограничение по условию необходимой высоты выработки;
- ограничение, учитывающее рез, соответствующий фронтальной зарубке исполнительного органа;
- ограничения на толщину стружки по радиальному вылету резца;
- ограничения на глубину зарубки и шаг фрезерования, обусловленные допустимым уровнем динамической нагрузки на исполнительном органе и рациональным уровнем энергозатрат, а также конструкцией коронки;
- ограничения на скорость вращения коронки, обусловленное абразивностью разрушаемой породы;
- ограничение 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 $N_{\text{экв}}$, которая не должна быть больше номинальной мощности двигателя с учетом режима его работы $N_{\text{ном}}$;
- ограничения 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 (1).

Здесь: $W_j()$, $W_{\text{вз}j}()$ - зависимости удельных энергозатрат от параметров процесса разрушения j-го пласта в режимах бокового реза и вертикальной зарубки соответственно; 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 соответственно; $\Delta t_{\text{вз}i}$, $\Delta t_{\text{фз}}$ - длительности вертикальной зарубки в i-тый слой и фронтальной зарубки; t_{ij} - длительность

разрушения j -го пласта в процессе i -го реза; $M_{кр}$ - критический момент двигателя; U_{ϕ}, U_H - фактическое и номинальное напряжение питающей сети; k_{∂} - коэффициент преобразования динамической системой двигателя высокочастотной составляющей момента сопротивления на валу двигателя; $S_{\epsilon 3}(\cdot)$ - функция площади проекции сечения забоя, разрушаемого коронкой, на плоскость, перпендикулярную направлению подачи; $\Delta H_o(\cdot)$ - функция высоты слоя, соответствующего фронтальной зарубке исполнительного органа, от глубины зарубки и параметров коронки \bar{P}_{uo} ; $s_{\max}, s_{\max \epsilon 3}$ - максимальная подача за оборот коронки по радиальному вылету резца в режимах бокового реза и вертикальной зарубки; $B_{\min}, B_{\max}, \Delta H_{\min}, \Delta H_{\max}$ - пределы допустимых значений глубины зарубки исполнительного органа в забой и высоты разрушаемого слоя (определяются конструкцией исполнительного органа); $\omega_{\max j}$ - максимальная скорость вращения коронки, при которой обеспечиваются приемлемые интенсивность абразивного износа и искрообразование на резцах при разрушении породы j -го пласта.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \text{Найти } \bar{X} \{B, \Delta H_i, N, V_{n_{ij}}, \omega_{ij}, i_{\phi 3}, n_{\phi 3}, V_{n_{\epsilon 3j}}, \omega_{\epsilon 3j}\}, \\
 \text{при котором } M_{\text{ц max}}(\bar{X}) = \max_{i=1..N} \left[\max_{j=1..n_{nl}} (M_{ij \text{ max}}), \min_{j=1..n_{nl}} (M_{\epsilon 3j \text{ max}}) \right] \rightarrow \min, \\
 \text{при ограничениях } (i = 1..N, j = 1..n_{nl}) : \\
 \frac{k_m B}{\sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^{n_{nl}} t_{ij} + \Delta t_{\epsilon 3i} \right) + \Delta t_{\phi 3}} = V_{np}; \\
 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_{nl}} t_{ij} N_{ij}^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_{nl}} t_{ij}}} \leq N_{\text{ном}}; \quad N_{ij} = B \Delta H_i V_{n_{ij}} W_j(B, \Delta H_i, V_{n_{ij}}, \omega_{ij}) \\
 N_{\epsilon 3j} = V_{n_{\epsilon 3j}} S_{\epsilon 3}(B'_{ij}, \Delta H_i, \bar{P}_{uo}) \cdot W_{\epsilon 3j}(B'_{ij}, V_{n_{\epsilon 3j}}, \omega_{\epsilon 3j}); \quad M_{ij} = \frac{N_{ij}}{\omega_{ij} \eta \cdot u_p}; \\
 M_{ij} \leq \frac{M_{кр} (U_{\phi} / U_H)}{k_{нчj}(B'_{ij}, \Delta H_i) (1 + k_{\partial} k_{\epsilon чj}(B'_{ij}, \Delta H_i))}; \\
 \frac{N_{\epsilon 3j}}{\omega_{\epsilon 3j} \eta u_p} \leq \frac{M_{кр} (U_{\phi} / U_H)}{k_{нч\epsilon 3j}(B'_{ij}, \Delta H_i) (1 + k_{\partial} k_{\epsilon ч\epsilon 3j}(B'_{ij}, \Delta H_i))}; \\
 \sum_{i=1}^N \Delta H_i = H_B; \quad \Delta H_{i_{\phi 3}} = \Delta H_o(B, \bar{P}_{uo}); \\
 \frac{2\pi V_{n_{ij}}}{\omega_{ij}} \leq s_{\max}; \quad \frac{2\pi V_{n_{\epsilon 3j}}}{\omega_{\epsilon 3j}} \leq s_{\max \epsilon 3}; \quad B_{\min} \leq B \leq B_{\max}, \quad \Delta H_{\min} \leq \Delta H_i \leq \Delta H_{\max}; \\
 \omega_{ij}, \omega_{\epsilon 3j} \leq \omega_{\max j}; \quad N, i_{\phi 3}, n_{\phi 3} - \text{целые}, \quad N > 0, \quad 0 < i_{\phi 3} \leq N,
 \end{array} \right. \quad (1)$$

Функции $W_j()$, $W_{взj}()$, $k_{нчj}()$, $k_{нчвзj}()$, $k_{вчj}()$, $k_{вчвзj}()$ определяются путем самообучения (во время наладки комбайна в конкретном забое путем натурального эксперимента); функция $y_{кв}(z)$ задается оператором в зависимости от формы сечения выработки; функции $S_{вз}()$, $\Delta H_o()$ определяются конструкцией исполнительного органа и могут быть заданы еще на этапе проектирования комбайна; значения коэффициента машинного времени k_m и номинальной мощности двигателя $N_{ном}$ 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 темпа 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 коронки.

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 допустимой величиной $M_{max.don}$. 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 момент в приводе не превышает заданной допустимой величины $M_{max.don}$. 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 толщин слоев в соответствии с заданной высотой выработки. В случае, если высота выработки превышает заданную более чем на допустимую величину $\delta_{кв}$, снижается значение допустимого 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 не более максимального значения, при котором эквивалентная мощность не превышает номинальную. В случае, если регулирование частоты вращения коронки не предусмотрено, это достигается постепенным снижением допустимого момента.

5. Анализ значений эквивалентной мощности и темпа проходки и в случае их превышения над заданными значениями осуществляется снижение значения $M_{max.don}$

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

$$НП_{пр} = \frac{1}{B} \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_{nl}} \frac{t_{ij} \omega_{ij} u_p}{2\pi} M_{max\ ij}^m + \sum_{i=1}^N \frac{\Delta H_i u_p}{s_{вз\ ij}} \min_{j=1..n_{nl}} (M_{вз\ max\ ij})^m \right];$$

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

$$НП = \frac{1}{B} \left[\sum_{i=1}^N \max_{j=1..n_{nl}} (M_{max\ ij})^m + \sum_{i=1}^N \min_{j=1..n_{nl}} (M_{вз\ max\ ij})^m \right],$$

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 3х 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 уставкой 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 $\Delta_{кв} = 0,05 м$ [4].

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

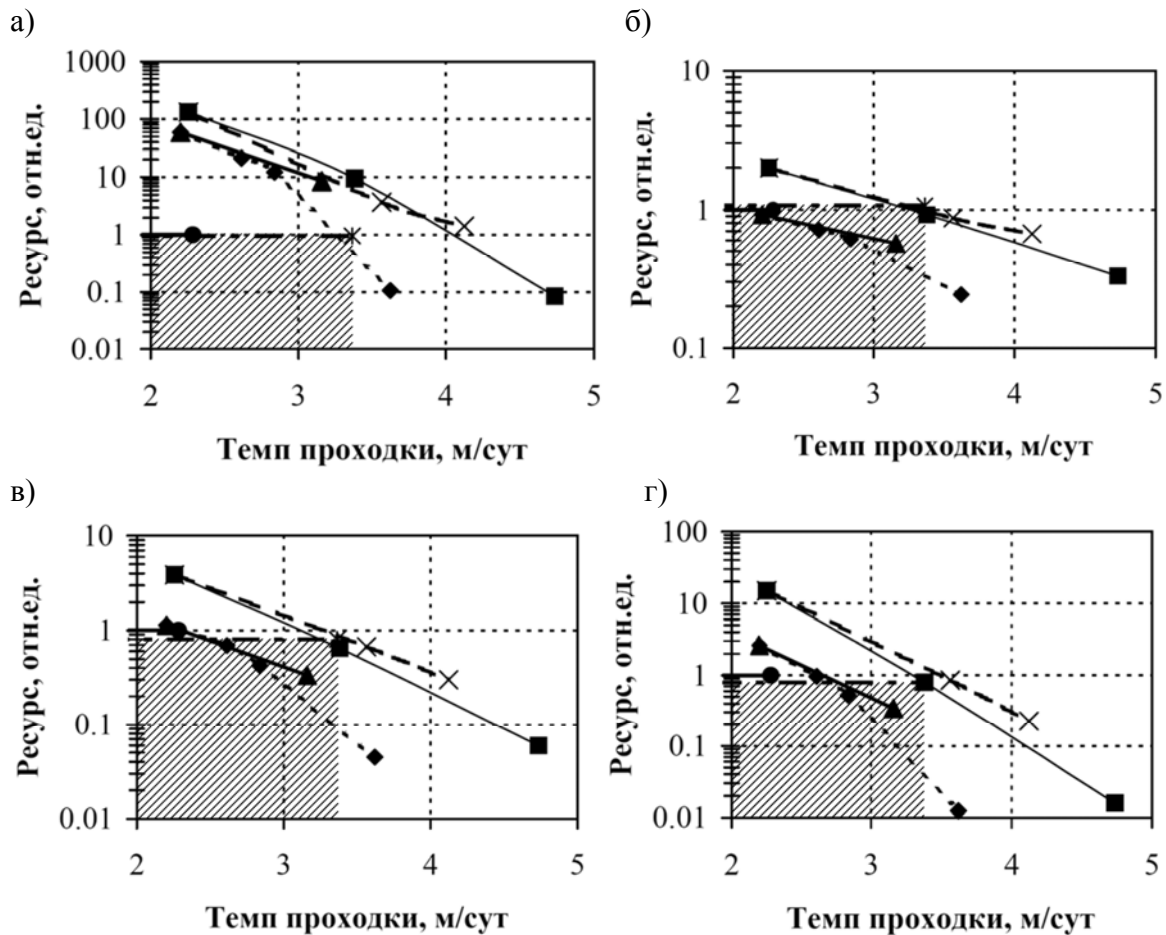
На рис. 2 приведены результаты моделирования относительного изменения ресурса от реализуемого темпа проходки при различных принципах управления комбайном. Крайняя правая точка на всех кривых соответствует максимальному темпу проходки при заданном принципе управления. Относительное изменение ресурса рассчитывалось 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. При этом 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 нагружения;

- 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 элементов 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;



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, $s \rightarrow \Delta H$, $\omega = \text{const}$

Рисунок 2 – Влияние принципа управления комбайном на ресурс корпусных элементов металлоконструкции (а, $m=9$) и привода исполнительного органа (б – $m=3,33$, в – $m=6$, г – $m=9$)

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

- автоматизированный и ручной (при высокой квалификации машиниста) принципы управления дают примерно одинаковый ресурс элементов конструкции 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. Семенченко А.К., Шабаев О.Е., Семенченко Д.А., Хиценко Н.В. Системное представление горной машины как мехатронного объекта. - Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. Вип. 13 (123). - Донецьк, 2007. - С. 125-131. 2. Принципы мехатроники при проектировании горных машин / Стадник Н.И., Сергеев А.В., Мезников А.В., Кондрахин В.П. // Материалы международной конференции «Форум горняков – 2007».- Днепропетровск: НГУ, 2007.- С.7-17.. 3. Горбатов П.А., Лысенко Н.М., Лысенко М.Н., Сергеев А.В. Разработка структурной модели мехатронных подсистем привода проходческих комбайнов // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. - №11. – С. 17-22. 4. 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. 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. Шабаев О.Е., Семенченко А.К., Хиценко Н.В. Принципы интеллектуализации рабочих процессов

мехатронной горной выемочной машины / Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю, №1, 2010. – С. 207-213. 7. Семенченко А.К., Кравченко В.М., Шабасев О.Е. Теоретические основы анализа и синтеза горных машин и процесса их восстановления как динамических систем. – Донецк: РВА ДонНТУ, 2002. – 302с.

ADAPTIVE OPTIMIZATION OF SURFACE CYCLE AND PARAMETERS OF BEHAVIOR FACE DAMAGE BY HEADING MACHINE OF SELECTIVE ACTION BY RESOURCE CRITERION

O. Shabaev, A. Semenchenko, N. Khitsenko(DonNTU, Donetsk, Ukraine)

***Abstract.** Developed the mathematical model and approach of adaptive optimization of surface cycle and parameters of behavior face damage by mechatronic heading machine of selective action by resource criterion. Theoretically demonstrated that the realization of developed approach allows how to supply the rise of performance as compared with hand control at the expense of resource retrogression and essential to raise a resource in case of need the realization lower performance.*

***Key words:** heading machine, working procedure, behavior face damage, performance, adaptive optimization.*

АДАПТИВНА ОПТИМІЗАЦІЯ ЦИКЛУ ОБРОБКИ ТА ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ РУЙНУВАННЯ ВИБОЮ ПРОХІДНИЦЬКИМ КОМБАЙНОМ ВИБОРЧОЇ ДІЇ ЗА КРИТЕРІЄМ РЕСУРСУ

Шабасєв О.Є., Семенченко А.К., Хіценко М.В. (ДонНТУ, м. Донецьк, Україна)

***Анотація.** 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 зі 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, режим руйнування, темп проходки, адаптивна оптимізація*