

УДК 622.232

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЦИКЛА ОБРАБОТКИ ЗАБОЯ СИСТЕМОЙ ИНТЕЛЕКТА МЕХАТРОННОГО ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА

Шабает О. Е.

(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Запропоновано адаптивна оптимізація циклу обробки забою прохідницьким комбайном виборчої дії за критерієм темпу проходки. Зростання темпів проходки забезпечується за рахунок максимальної і рівномірного завантаження привода по потужності в межах циклу і більш повного використання номінальної потужності двигуна за цикл обробки вибою з урахуванням альтернатив регулювання навантаження як за рахунок висоти шару, так і за рахунок швидкостей подачі і обертання коронок.

Adaptational optimization of the cycle of processing of the face by the selective roadheader by the penetration rate was proposed. The increase of the penetration rates is achieved by the maximum and even loading of the power drive within a cycle, and greater use of motor power at the cycle of processing of the face, considering possible alterations of the load control by the bed height, by the feed and crowns rotation rates.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами

Среди проблем, стоящих перед угольной промышленностью и влияющих на добычу угля в отрасли, наиболее острой остается проблема ускорения темпов проведения подготовительных работ, обеспечивающих необходимую и своевременную подготовку фронта очистных работ. Наиболее весомый фактор, ограничивающий дальнейший рост темпов проходки – неучет систе-

мой управления целого ряда особенностей конструкции и процесса функционирования комбайна [1], что является допустимым при низких темпах проходки, однако неприемлемо в перспективе. Для обеспечения высоких темпов проходки при приемлемых уровнях металлоемкости и энерговооруженности комбайн должен проектироваться как мехатронная система с интеллектуальной системой управления, обеспечивающей наряду с прочими функциями решение задач адаптивной оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя.

Анализ исследований и публикаций.

В связи с изменяющимися горно-геологическими условиями добычных забоев, которые не всегда могут быть априорно известными, целесообразно применение принципа адаптации [2], реализация которого для очистных комбайнов предполагает обеспечение рациональных режимов разрушения забоя при максимальном использовании мощности привода за счет регулирования скоростей вращения и подачи исполнительных органов [3]. Характерной особенностью проходческих комбайнов является дополнительная возможность регулирования нагрузки за счет изменения параметров сечения забоя, разрушаемого коронкой [4]. 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 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 [5].

Постановка задачи.

На основании вышеизложенного актуальной научной проблемой является разработка метода адаптивной оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя ме-

хатронным проходческим комбайном избирательного действия по критерию темпа 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 ;

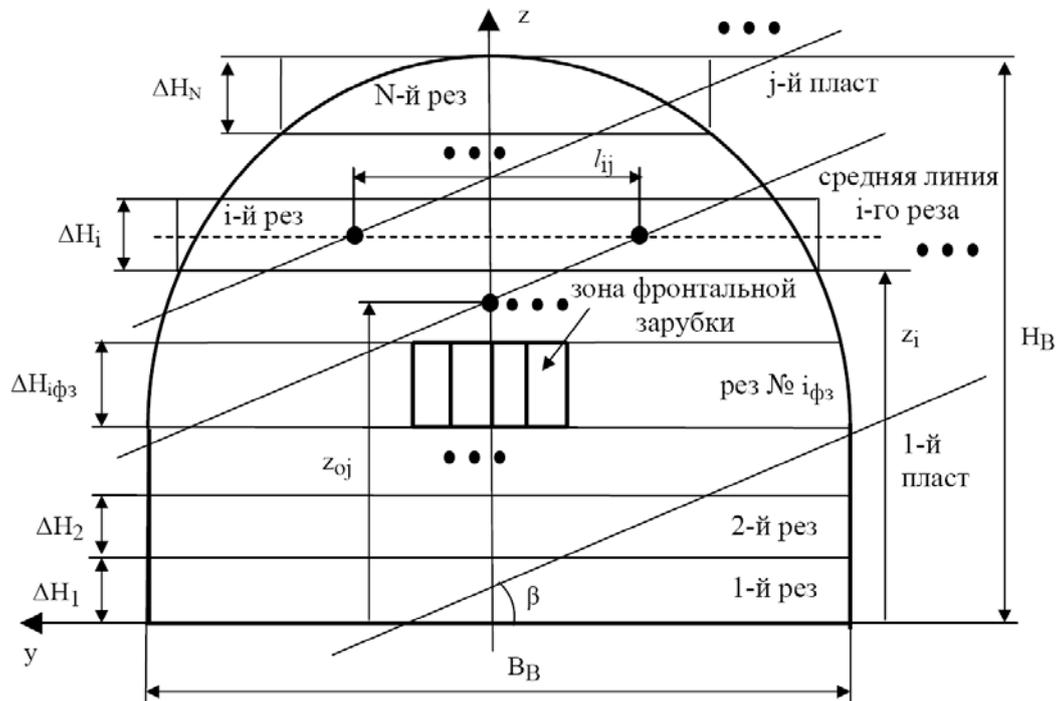


Рис. 1. Схема проходческого забоя

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 ре-

жиме породы незначителен. Поэтому при расчете эквивалентной мощности за цикл обработки забоя считаем, что этот объем породы разрушается в режиме бокового реза.

Контур выработки задается функцией $y_{кв}(z)$ в зависимости от формы сечения выработки для арочной формы:

$$y_{кв}(z) = \begin{cases} \frac{B_{\epsilon}}{2} & \text{при } z > h_0 \\ \sqrt{\left(\frac{B_{\epsilon}}{2}\right)^2 - (z - h_0)^2} & \text{при } z < h_0 \end{cases},$$

где B_{ϵ} – ширина выработки;
 h_0 – высота вертикальной стенки выработки.

Нижняя граница j -го пласта (рис. 1) выражается уравнением:

$$z = z_{oj} - \text{tg}\beta \cdot y,$$

где β – угол падения пласта; z_{oj} – высота нижней границы пласта по центру выработки.

Уравнение нижней границы i -го слоя имеет вид:

$$z_i = \sum_{k=1}^{i-1} \Delta H_k.$$

Координата точки пересечения нижней границы j -го пласта со средней линией i -го слоя, которая проходит на $\Delta H_i/2$ выше нижней границы:

$$y_{ij} = \left(z_{oj} - \frac{\Delta H_i}{2} - \sum_{k=1}^{i-1} \Delta H_k \right) \text{ctg}\beta.$$

Для исключения точек y_{ij} , выходящих за контур выработки, следует принять:

$$y_{ij} = \begin{cases} y_{кв}(z_i) \text{ при } y_{ij} > y_{кв}(z_i); \\ -y_{кв}(z_i) \text{ при } y_{ij} < -y_{кв}(z_i). \end{cases}$$

Тогда длина i -го реза, соответствующая разрушению j -го пласта:

$$l_{ij} = y_{i(j+1)} - y_{ij}.$$

Вследствие особенностей кинематики стреловидного исполнительного органа глубина его зарубки в забой изменяется в процессе обработки забоя в зависимости от углов подъема и поворота стрелы:

$$B'_{ij} = B \sqrt{\left(1 - \left(\frac{z_i + \Delta H_i - z_c}{L_c + R}\right)^2\right) \left(1 - \left(\frac{y_{cpij}}{L_c + R}\right)^2\right)} + L_c + R - \sqrt{(L_c + R)^2 - B^2 \left[1 - \left(1 - \left(\frac{z_i + \Delta H_i - z_c}{L_c + R}\right)^2\right) \left(1 - \left(\frac{y_{cpij}}{L_c + R}\right)^2\right)\right]}$$

где z_c – высота оси подъема стрелы от почвы выработки;

B – глубина зарубки вдоль продольной оси выработки на высоте z_c от почвы;

L_c – длина стрелы;

R – максимальный радиус поперечно-осевой коронки по вершинам резцов (для продольно-осевых – длина коронки);

y_{cpij} – координата средней точки участка i -го реза, соответствующей разрушению j -го пласта.

Для определения производительности разрушения забоя, что необходимо при расчете удельных энергозатрат и прогнозировании нагрузок, используется величина площади проекции сечения забоя, разрушаемого коронкой, на плоскость, перпендикулярную направлению подачи. Эта величина зависит от параметров \bar{P}_{uo} и формы коронки, а также от параметров схемы разрушения забоя. При боковом резе эта площадь может быть определена как

$$S_{ij} = B'_{ij} \Delta H_i.$$

При вертикальной зарубке площадь проекции сечения забоя, разрушаемого коронкой, на плоскость, перпендикулярную направлению подачи:

$$S_{взij} = S_{вз}(B'_{ij}, \Delta H_i, \bar{P}_{uo}).$$

Математическая модель оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя

Параметрами оптимізації являються: B – глибина зарубки исполнительного органа; ΔH_i – шаги фрезерования и количество N горизонтальных резов; $V_{n_{ij}}$, 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; $V_{n_{езij}}$, $\omega_{езij}$ – скорости подачи и вращения коронок при вертикальной зарубке в j -й пласт i -го слоя.

Целевой функцией для решения этой задачи является темп проходки выработки:

$$V_{np}(\bar{X}) = \frac{k_m B}{\sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^{n_{ni}} t_{ij} + \Delta t_{езi} \right) + \Delta t_{фз}} \rightarrow \max,$$

где k_m – коэффициент машинного времени комбайна;

B – глубина зарубки коронок;

$\Delta t_{езi}$, $\Delta t_{фз}$ – длительности вертикальной зарубки в i -тый слой и фронтальной зарубки;

t_{ij} – длительность разрушения j -го пласта в процессе i -го реза, $t_{ij} = l_{ij} / V_{n_{ij}}$.

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

- 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 $N_{экв}$, которая не должна быть больше номинальной мощности двигателя с учетом режима его работы $N_{ном}$;

– 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 темпа проходки имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Найти } \bar{X} \{ B, \Delta H_i, N, V_{n_{ij}}, \omega_{ij}, i_{\phi_3}, n_{\phi_3}, V_{\text{вз}_{ij}}, \omega_{\text{вз}_{ij}} \}, \\ \text{при котором } V_{np}(\bar{X}) = \frac{k_m B}{\sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^{n_{ni}} t_{ij} + \Delta t_{\text{вз}_{i}} \right) + \Delta t_{\phi_3}} \rightarrow \max, \\ \text{при ограничениях } (i = 1..N, j = 1..n_{ni}) : \\ \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_{ni}} t_{ij} N_{ij}^2} / \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_{ni}} t_{ij} \leq N_{ном}; \quad N_{ij} = B \Delta H_i V_{n_{ij}} W_j(B, \Delta H_i, V_{n_{ij}}, \omega_{ij}); \\ N_{\text{вз}_{ij}} = V_{\text{вз}_{ij}} S_{\text{вз}}(B'_{ij}, \Delta H_i, \bar{P}_{uo}) \cdot W_{\text{вз}_{ij}}(B'_{ij}, V_{\text{вз}_{ij}}, \omega_{\text{вз}_{ij}}); \\ \frac{N_{ij}}{\omega_{ij} \eta \cdot u_p} \leq \min \left(M_{\text{дон}}, \frac{M_{кр}(U_\phi / U_n)}{k_{нчj}(B'_{ij}, \Delta H_i) (1 + k_\delta k_{\text{вч}_{ij}}(B'_{ij}, \Delta H_i))} \right); \\ \frac{N_{\text{вз}_{ij}}}{\omega_{\text{вз}_{ij}} \eta u_p} \leq \min \left(M_{\text{дон}}, \frac{M_{кр}(U_\phi / U_n)}{k_{нч\text{вз}_{ij}}(B'_{ij}, \Delta H_i) (1 + k_\delta k_{\text{вч}_{\text{вз}_{ij}}}(B'_{ij}, \Delta H_i))} \right); \\ \sum_{i=1}^N \Delta H_i = H_B; \quad \Delta H_{i_{\phi_3}} = \Delta H_o(B, \bar{P}_{uo}); \\ \frac{2\pi V_{n_{ij}}}{\omega_{ij}} \leq s_{\max}; \quad \frac{2\pi V_{\text{вз}_{ij}}}{\omega_{\text{вз}_{ij}}} \leq s_{\max \text{вз}}; \quad B_{\min} \leq B \leq B_{\max}, \quad \Delta H_{\min} \leq \Delta H_i \leq \Delta H_{\max}; \\ \omega_{ij}, \omega_{\text{вз}_{ij}} \leq \omega_{\max j}; \quad N, i_{\phi_3}, n_{\phi_3} - \text{целые}, \quad N > 0, \quad 0 < i_{\phi_3} \leq N. \end{array} \right.$$

где $W_j, W_{\text{вз}_{ij}}$ – зависимости удельных энергозатрат от параметров процесса разрушения j -го пласта в режимах бокового реза и вертикальной зарубки соответственно;

$N_j, N_{\text{вз}j}$ – мощности, развиваемые приводом резания при разрушении j -го пласта в процессе i -го бокового реза и i -й вертикальной зарубки соответственно;

η, u_p – к.п.д. и передаточное число редуктора привода резания;

$M_{\text{доп}}$ – допускаемый момент двигателя (задается системой интеллекта);

$M_{\text{кр}}$ – критический момент двигателя;

$U_{\text{ф}}, U_{\text{н}}$ – фактическое и номинальное напряжение питающей сети;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент преобразования динамической системой двигателя высокочастотной составляющей момента сопротивления на валу двигателя;

$k_{\text{нч}j}, k_{\text{вч}j}, k_{\text{нчвз}j}, k_{\text{вчвз}j}$ – 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;

ΔH_0 – функция высоты слоя, соответствующего фронтальной зарубке исполнительного органа, от глубины зарубки и параметров коронки $\bar{P}_{\text{ио}}$;

$S_{\text{max}}, S_{\text{max в}z}$ – максимальная подача за оборот коронки по радиальному вылету резца в режимах бокового реза и вертикальной зарубки;

$B_{\text{min}}, B_{\text{max}}, \Delta H_{\text{min}}, \Delta H_{\text{max}}$ – 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 резцах при разрушении породы j -го пласта.

Функции $W_j, W_{\text{вз}j}, k_{\text{нч}j}, k_{\text{нчвз}j}, k_{\text{вч}j}, k_{\text{вчвз}j}$ определяются путем самообучения (во время наладки комбайна в конкретном забое путем натурального эксперимента); функция $y_{\text{кв}}(z)$ задается опера-

тором в зависимости от формы сечения выработки; функции $S_{вз}(\)$, ΔH_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 максимальной и равномерной загрузки привода по мощности в пределах цикла;
- обеспечение максимального использования номинальной (тепловой) мощности приводного двигателя за цикл обработки забоя;
- максимальное использование устойчивого момента в каждом резе;
- максимально возможная глубина зарубки исполнительного органа;
- 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. Глубина зарубки принимается максимальной, при которой возможна вертикальная зарубка в наиболее прочный пласт забоя.

2. Выбор для всех слоев и пластов забоя максимально возможных значений подачи за оборот и толщины разрушаемого слоя, при которых момент двигателя не превышает устойчивый и допустимый моменты. 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 ми-

нимальной 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 допускаемого момента и осуществляется переход на этап 2.

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 допускаемого момента.

5. Анализ значения эквивалентной мощности и в случае необходимости корректировка параметров цикла обработки и режима работы исполнительного органа (переход этап 2).

Описанный алгоритм был реализован в системе Mathcad в виде расчетного листа, позволяющего по заданным условиям эксплуатации комбайна, параметрам привода и исполнительного органа анализировать темпы проходки выработки при применении различных принципов управления. Характерно, что в приведенном алгоритме не используется целевая функция решаемой задачи оптимизации. Максимум темпов проходки достигается как совместный эффект от выполнения ряда требований, приведенных в начале пункта.

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 комбайна: площадь сечения выработки в проходке 15 м^2 ; смешанный забой из трех пластов (порода почвы, уголь, порода кровли) с примерно равными долями пластов. Следует рассматривать сочетания прочности пород (кровля-почва-уголь, в относительных единицах, за базу принята максимальная прочность по технической характери-

стике 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.

Следует рассмотреть 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 обеспечивается 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 ограничивается 80 % от номинальной.

Для учета неточности обработки контура выработки, характерной для автоматизированного и ручного принципов управления, при их анализе принят перебор по контуру выработки $\Delta_{кв} = 0,05 м$.

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.

Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод, что применение принципов адаптивной оптимизации в системе управления позволяет обеспечить для проходческого комбайна повышение темпов проходки в 1,4-2,5 раза. Этот вывод

справедлив для всех рассмотренных забоев и может быть проиллюстрирован гистограммой на рисунке 2.

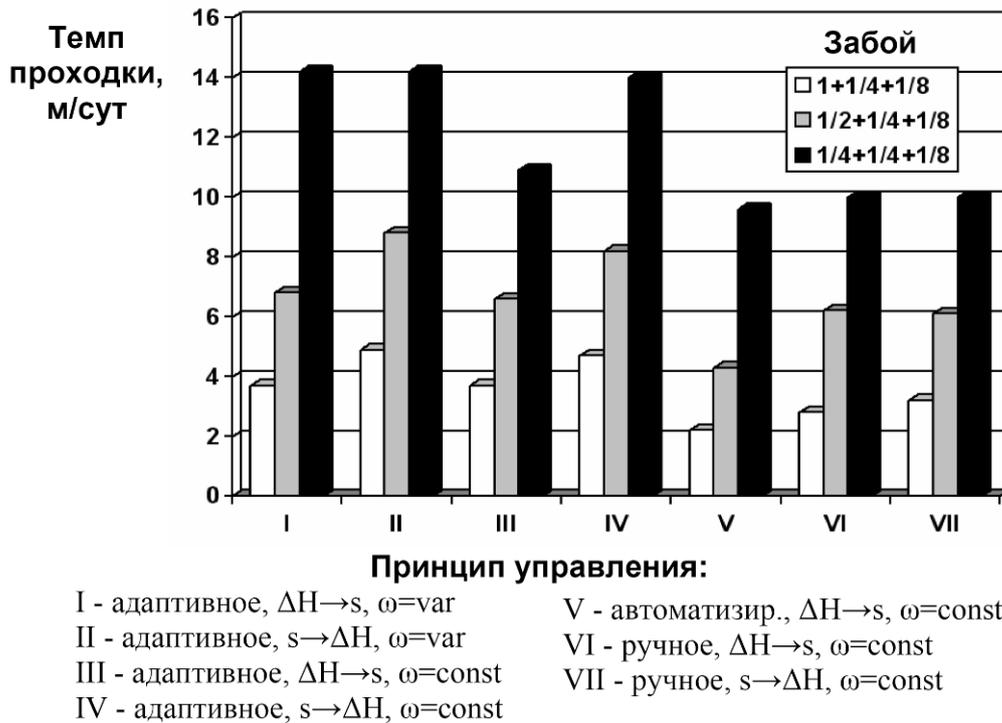


Рис. 2. Темп проходки в зависимости от принципов управления комбайном

Рост темпов проходки обеспечивается за счет:

– повышения уровня использования установленной мощности приводного двигателя, что можно проиллюстрировать на примере контурного графика изменения мощности, развиваемой двигателем привода резания (в относительных единицах) в зависимости от положения исполнительного органа в забое (рис. 3). Сравниваются автоматизированный (а) и адаптивный (б) принципы управления. В первом случае сначала осуществляется подбор высоты разрушаемого слоя (шага фрезерования), а затем – подачи за оборот коронки (автоматически в процессе регулирования нагрузки). Во втором случае, напротив, первоначально осуществляется подбор подачи за оборот коронки, а затем – шага фрезерования. На графике видно, как за счет повышения уровня использования мощности в кровле с временной перегрузкой на 21 %

обеспечивается увеличение коэффициента использования тепловой мощности с 0,62 до 0,99;

– более эффективного по энергозатратам режима разрушения забоя боковым резом, в качестве примера (см. рис. 4): при автоматизированном принципе управления (а) превышение удельных энергозатрат над рациональными значениями составляет до 133 %, а при адаптивном (б) – всего на 30 %.

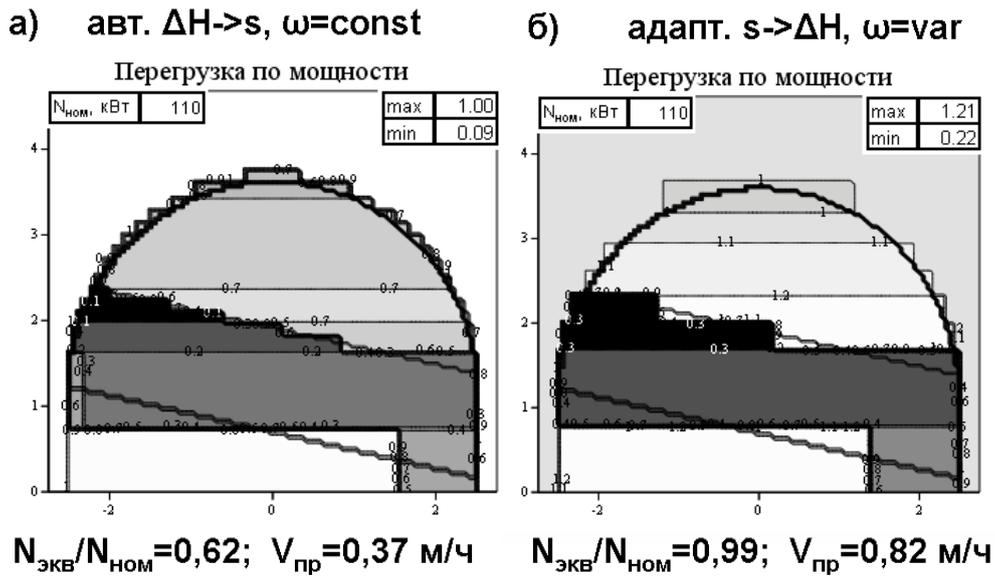


Рис. 3. Повышение использования мощности за счет перегрузок

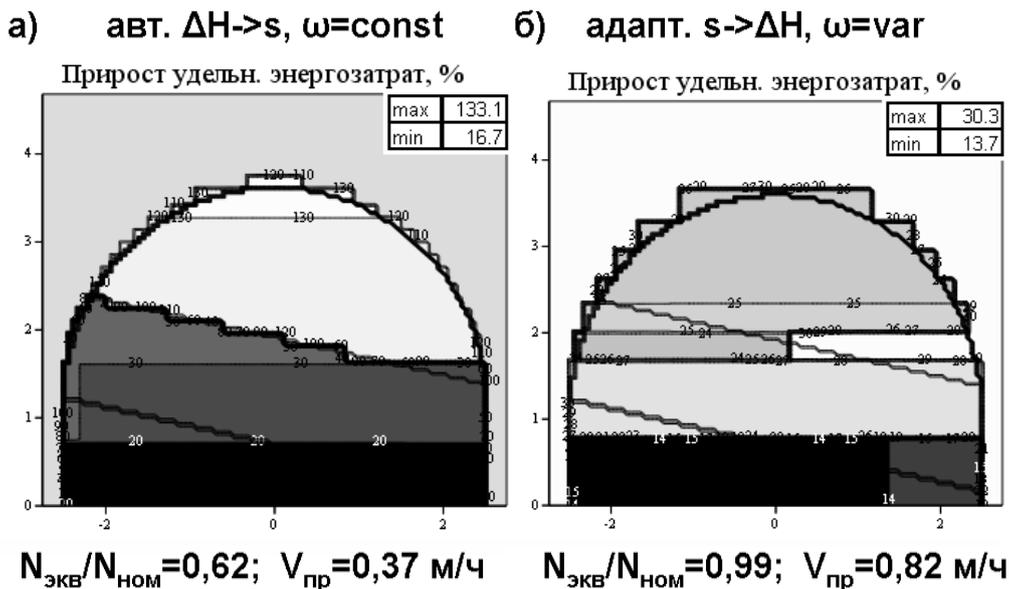


Рис. 4. Реализация рациональных режимов разрушения

Выводы и направление дальнейших исследований

Обеспечение высоких показателей производительности при приемлемых уровнях металлоемкости и энерговооруженности выемочных машин может быть достигнуто путем их оснащения интеллектуальной системой управления, которая реализует адаптивную оптимизацию рабочего процесса комбайна на основе текущей информации о состоянии силовых систем машины, данных о параметрах внешней среды. Разработаны математическая модель и метод оптимизации цикла обработки и параметров режима разрушения забоя исполнительным органом проходческого комбайна по критерию темпа проходки, реализация которой показала, что применение принципов адаптивной оптимизации в системе управления позволяет обеспечить для проходческого комбайна повышение темпов проходки в 1,4-2,5 раза. Рост темпов проходки обеспечивается за счет повышения уровня использования установленной мощности приводного двигателя и более эффективного по энергозатратам режима разрушения забоя боковым резом.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Семенченко А.К., Шабает 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. Курносое В. Г., Красик Я. Л. Системы и средства автоматизации за-бойного оборудования. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 48. – Донецьк, 2002. – С. 120 – 128.
3. Берон А.И., Траубе Е.С., Крюков И.В. Пути создания регулируемого электропривода угледобывающих машин // Оптимизация режимов работы исполнительных органов угледобывающих машин. – М.: Наука. – 1967. – С. 146 – 157.
4. Семенченко А.К., Хиценко Н.В. Оценка эффективности способов регулирования нагрузки на привод резания комбайна

типа П110 в условиях Донбасса // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2004. – № 2 – С. 109 – 115.

5. Шабает 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.