

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ АКСИАЛЬНОЙ КОРОНКИ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА

Гуляев В.Г., докт. техн. наук, Семенченко Д.А., аспирант,
Донецкий национальный технический университет

Разработана математическая модель для оптимизации конструктивных и режимных параметров аксиальной коронки по критериям энергоемкости, перебора, производительности и ресурса. Предложен метод ее реализации.

The mathematical model for optimization of constructive and regime parameters of an axial bit by criteria of power consumption, subgrade drilling, output and life duration is developed. The method of its realization is offered.

В настоящее время для механизации процесса прохождения выработок в подземных условиях широко используются проходческие комбайны избирательного действия, оснащенные резцовым корончатым исполнительным органом. Эффективность работы этих комбайнов в значительной мере определяется характеристиками процесса взаимодействия коронки с разрушаемым массивом. Именно этот процесс определяет удельные энергозатраты разрушения, характер и величину внешних нагрузок, действующих от разрушаемого массива на комбайн, а следовательно, оказывает определяющее влияние на производительность и надежность машины. Основными факторами, определяющими показатели процесса разрушения, являются параметры коронки и режимы ее работы.

Поэтому разработка математической модели и метода оптимизации параметров аксиальной коронки, широко используемой в современных проходческих комбайнах, является актуальной научной задачей.

Эта задача согласно [1] может быть сформулирована следующим образом: найти оптимальные значения параметров и режимов работы коронки, при которых целевая вектор функция качества достигает наилучшего показателя при использовании проходческого комбайна в заданной области горно-геологических условий эксплуа-

тации и учете ограничивающих факторов на возможные значения этих параметров и режимов.

В формализованном виде эта задача может быть представлена в виде следующей математической модели оптимизации:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Найти } \bar{X}_n^0 (n = 1, N_n) \text{ при которых :} \\ \bar{f}(\bar{X}_n^0, \bar{C}) = (\min f_1(\bar{X}, \bar{C}), \min f_2(\bar{X}, \bar{C}), \max f_3(\bar{X}, \bar{C}), \max f_4(\bar{X}, \bar{C})) \\ \bar{X} \in R_{X_2}^n \\ R_x^n \supset \bar{X} \left\{ \begin{array}{l} g_j(\bar{X}, \bar{C}) \leq 0, \quad j = \overline{1, N_j} \\ X_{1k} \leq X_k \leq X_{2k} \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (1)$$

где \bar{X}_n^0 - n-тое оптимальное значение вектора параметров и режимов работы аксиальной коронки, N_n - число оптимальных решений;

$\bar{f}(\bar{X}, \bar{C})$ - целевая вектор функция оптимизации параметров коронки, позволяющая получать количественную оценку технического уровня комбайна по следующим составляющим критерия качества: энергоёмкость - $f_1(\bar{X}, \bar{C})$, перебор породы - $f_2(\bar{X}, \bar{C})$, производительность - $f_3(\bar{X}, \bar{C})$, ресурс - $f_4(\bar{X}, \bar{C})$;

\bar{X} - вектор переменных проектирования коронки, оптимальные значения компонент которого должны быть найдены в процессе оптимизации;

\bar{C} - вектор постоянных проектирования коронки включающий ее не оптимизируемые параметры, а также значения параметров задающих физико-механические свойства разрушаемого массива в соответствии с областью использования комбайна;

R_x^n - пространство проектирования коронки, представляющее собой множество возможных (с учетом ограничивающих факторов) значений вектора переменных проектирования, из которых надлежит выбрать оптимальные значения. Это пространство задается в виде функций ограничения $g(\bar{X}, \bar{C})$ количество которых определяется факторами ограничивающими возможные значения параметров проектирования коронки.

$g_j(\bar{X}, \bar{C})$ - j-тая вектор-функция ограничений пространства проектирования исполнительного органа.

N_j - число функций, ограничивающих пространство проектирования коронки.

X_{1k}, X_{2k} - минимальное и максимальное возможные значения k -й компоненты вектора переменных проектирования;

N_k - число ограниченных компонент вектора \bar{X} .

На основе обобщения литературных данных и выполненного анализа эффективности работы проходческого комбайна, оснащенного аксиальной коронкой [2,3], компонентами вектора переменных проектирования являются вектора конструктивных \bar{P}_k и режимных \bar{R}_k параметров коронки.

Составляющими вектора оптимизируемых конструктивных параметров коронки являются:

функция формы коронки, отражающая зависимость радиуса установки вершины резца от осевого смещения $r=f(y)$;

радиус коронки R_k и минимальный радиус установки резцов на коронке r_{\min} ;

заходность установки резцов на коронке n_3 ;

функция угла смещения резца на спирали от радиуса его установки $\Delta\varphi = \psi(r)$;

угол установки резца α и угол разворота кулака резца γ .

Составляющими вектора оптимизируемых режимных параметров коронки являются:

схема обработки забоя, величина заглубления коронки в массив B и шаг фрезерования H ;

ширина среза t , максимальные скорости подачи $V_{p\max}$, максимальная и минимальная скорость резания V_{p1}, V_{p2} .

При повторной оптимизации коронки вышеназванные параметры могут уточняться на основе анализа моделирования ее работы с учетом весомости их влияния на качественные показатели.

Составляющими вектора постоянных проектирования коронки являются:

вектор формы и величины сечения выработки \bar{S} ;

показатели сопротивляемости резанию P_{pi} (контактная прочность, сопротивляемость угля резанию) и абразивности A_i i -го разрушаемого прослойка, количество прослойков N_i и их удельный объем при разрушении P_i ;

радиус редуктора $R_{ст}$ в зоне выходного вала привода исполнительного органа, на котором находится коронка.

Функции и факторы ограничений пространства проектирования:

- по вылету резца

$$g_1(\bar{X}, \bar{C}) = h(\bar{X}, \bar{C}) - [h_{max}],$$

где

$h(\bar{X}, \bar{C})$ - максимальная толщина стружки на резцах коронки во всех возможных режимах работы комбайна,

h_{max} - максимальная допустимая толщина стружки на резце из условия его вылета;

- по кинематическим изменениям заднего и бокового углов резца

$$g_2(\bar{X}, \bar{C}) = \Delta\alpha_3(\bar{X}, \bar{C}) - [\Delta\alpha_3] \text{ и } g_3(\bar{X}, \bar{C}) = \Delta\alpha_6(\bar{X}, \bar{C}) - [\Delta\alpha_6],$$

где

$\Delta\alpha_3(\bar{X}, \bar{C})$ и $\Delta\alpha_6(\bar{X}, \bar{C})$ - максимальные кинематические изменения заднего и бокового углов резцов коронки во всех режимах обработки забоя комбайном,

$[\Delta\alpha_3]$ и $[\Delta\alpha_6]$ - максимально допустимые изменения заднего и бокового углов резца;

- по устойчивой работы двигателя привода коронки

$$g_4(\bar{X}, \bar{C}) = M_{дв}(\bar{X}, \bar{C}) - M_{max\ дв},$$

где

$M_{дв}(\bar{X}, \bar{C})$ - максимальный момент развиваемый двигателем во всех режимах обработки забоя комбайном,

$M_{max\ дв}$ - максимальный момент, который может развить двигатель в условиях сети забоя;

- по тепловой мощности двигателя

$$g_5(\bar{X}, \bar{C}) = N_T(\bar{X}, \bar{C}) - N_{дл},$$

где

$N_T(\bar{X}, \bar{C})$ - приведенная тепловая мощность двигателя за полный цикл обработки забоя,

$N_{дл}$ - допустимая мощность двигателя по тепловому режиму его обмоток;

- по фактору обеспечения устойчивости комбайна

$$g_6(\bar{X}, \bar{C}) = M_{опр}(\bar{X}, \bar{C}) - M_{восст},$$

где

$M_{\text{опр}}(\bar{X}, C)$ - максимальная для всех режимов обработки забоя величина опрокидывающий комбайн момента,

$M_{\text{восст}}$ - величина восстанавливающего момента, обеспечивающего устойчивость комбайна;

- конструктивные возможности реализации параметров коронки.

Реализация математической модели(1) предусматривает решение задачи нелинейного математического программирования. Наиболее эффективное решение такой многокритериальной задачи может быть получено на основе декомпозиции пространства проектирования и поэтапной оптимизации. Декомпозицию пространства необходимо производить так, чтобы оптимальные решения последующего этапа не ухудшали оптимальные значения конструктивных и режимных параметров коронки, полученные на предыдущих этапах. На основе этого, для практической реализации математической модели (1) был разработан, ниже приведенный, метод определения рациональных конструктивных и режимных параметров аксиальной коронки (рис.1).

Методом предусматривается последовательное выполнение этапов анализа и определение рациональных параметров по основным критериям оптимизации, а также корректировка этих параметров эвристическим методом на основе анализа результатов полного цикла обработки забоя с учетом ограничивающих факторов.

Начальным этапом этого метода является подготовка исходных данных: требуемая теоретическая производительность комбайна (Q'), основные характеристики сечения выработки (\bar{S}) и распределение прочностных свойств разрушаемого массива с учетом его структуры $P_{гi}, P_i, N_i$ и абразивности A_i .

Второй этап предусматривает анализ исходных данных и обоснование:

– типа резца и его параметров \bar{P}_p с учетом показателей разрушаемости $P_{гi}$ и абразивности A_i , по критерию эффективного разрушения;

– схемы обработки забоя по критериям максимальной производительности, ресурса и минимального перебора.

Третий этап предусматривает анализ исходных данных и обоснование:

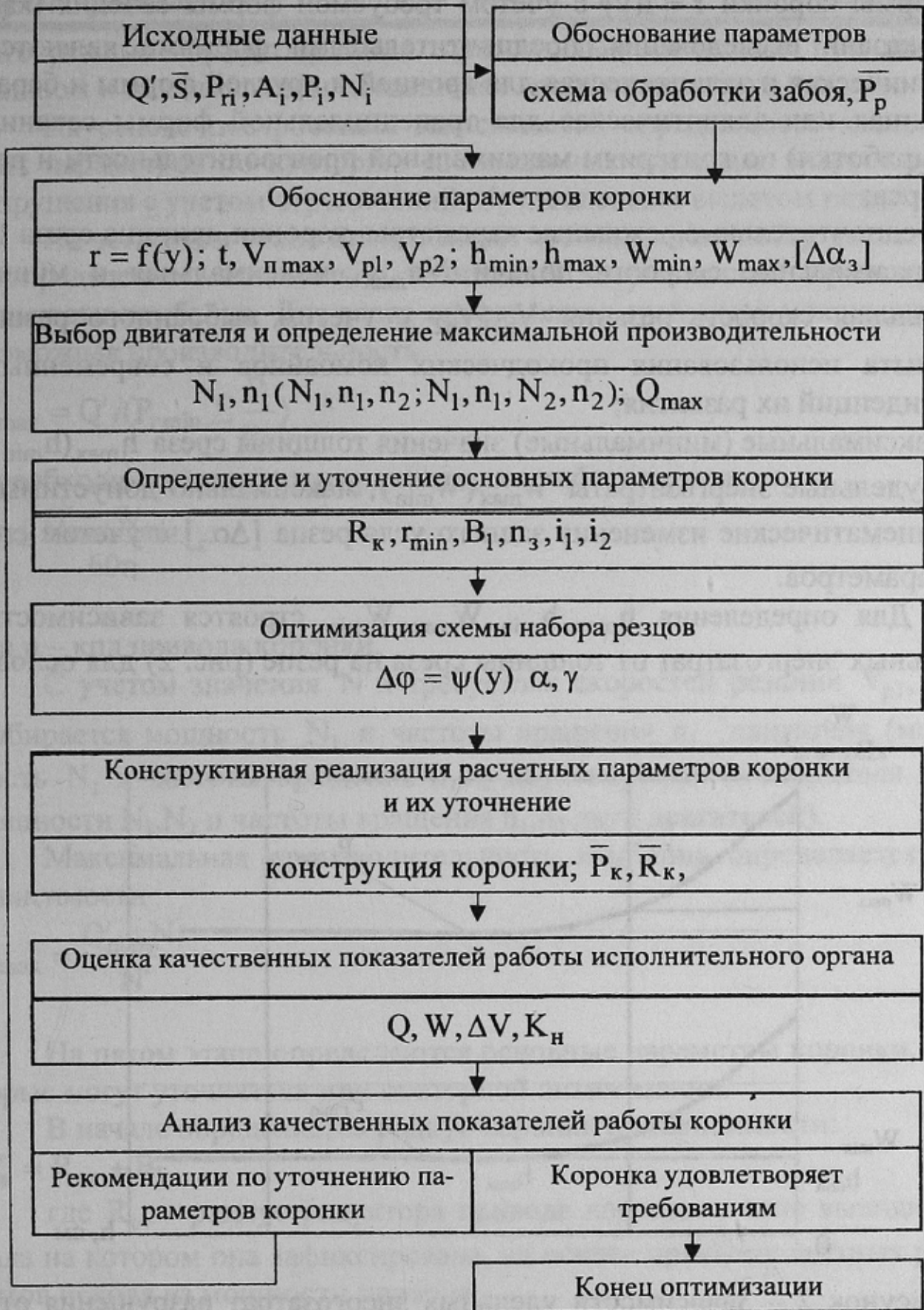


Рисунок 1 – Структурная схема метода многокритериальной оптимизации аксиальной коронки.

- форми коронки $r = f(y)$ с учетом требуемой формы сечения (как показали исследования, предпочтительными формами являются коническая и эллиптическая для арочной и круглой формы и барабанная или эллиптическая для трапециидальной формы сечения выработки) по критериям максимальной производительности и ресурса;
- предпочтительные режимные параметры коронки, ширина среза t , максимальные скорости подачи $V_{п\max}$, максимальная и минимальная скорость резания V_{p1}, V_{p2} с учетом выбранного резца, опыта использования проходческих комбайнов и современных тенденций их развития;
- максимальные (минимальные) значения толщины среза $h_{\max}(h_{\min})$ и удельные энергозатраты $W_{\max}(W_{\min})$, максимально допустимые кинематические изменения заднего угла резца $[\Delta\alpha_3]$ с учетом его параметров.

Для определения $h_{\max}, h_{\min}, W_{\max}, W_{\min}$ строятся зависимости удельных энергозатрат от толщины среза на резце (рис. 2) для основ-

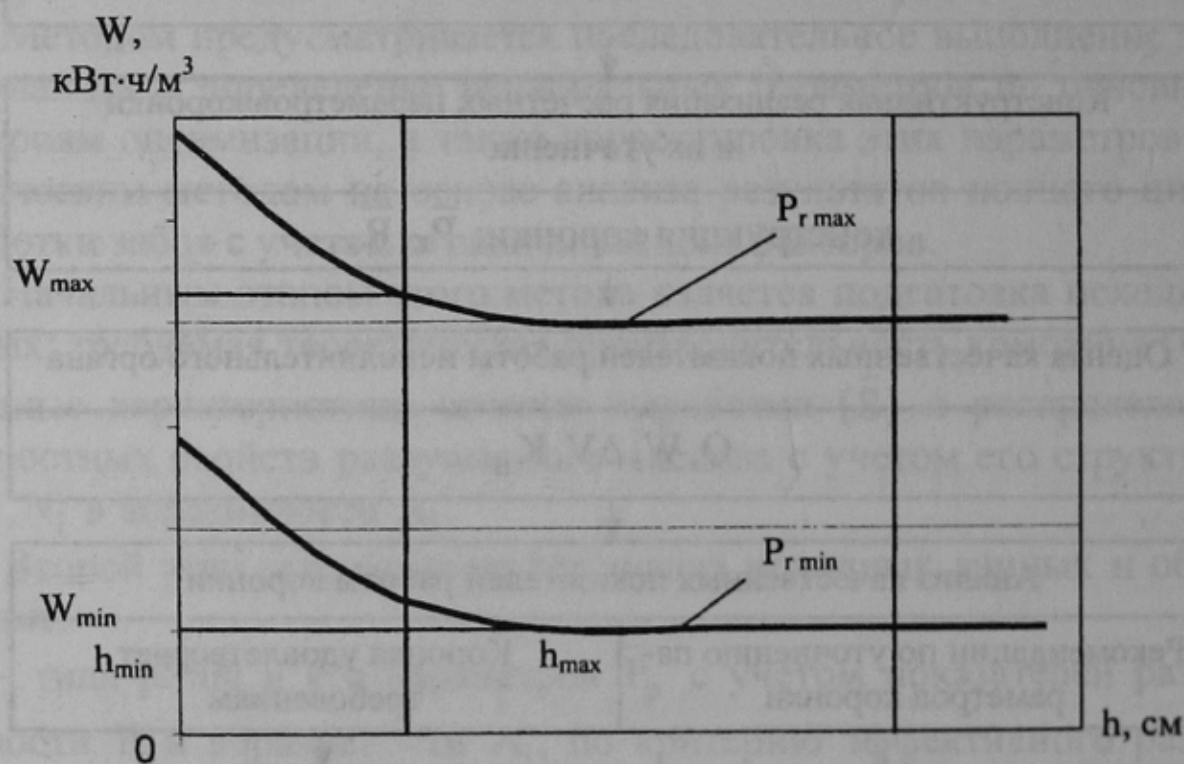


Рисунок 2 – Зависимости удельных энергозатрат разрушения от толщины среза для минимальных и максимальных значений показателей разрушения массива ($P_{r\max}, P_{r\min}$).

ного режима обработки забоя горизонтальными резами при минимальном и максимальном показателях сопротивляемости резанию.

На основе построенных зависимостей определяются значения этих параметров по критерию минимальных удельных энергозатрат разрушения с учетом ограничений обусловленных вылетом резца.

На четвертом этапе оптимизаций производится выбор двигателя и определение максимально возможной теоретической производительности комбайна. Для этого определяется требуемая максимально возможная производительность

$$Q'_{\max} = Q' / (P_{r \min} \sum \frac{P_i}{P_{ri}})$$

и необходимая мощность привода для ее обеспечения

$$N' = \frac{Q'_{\max} W_{\min}}{60\eta},$$

где η – КПД привода коронки.

С учетом значения N' и требуемых скоростей резания V_{p1}, V_{p2} выбирается мощность N_1 и частоты вращения n_1 двигателя (мощность N_1 и частоты вращения $n_{1,2}$ двухскоростного двигателя или мощности N_1, N_2 и частоты вращения n_1, n_2 двух двигателей).

Максимальная производительность комбайна определяется по зависимости

$$Q_{\max} = \frac{Q'_{\max} N_1}{N'}$$

На пятом этапе определяются основные параметры коронки, которые могут уточняться при повторной оптимизации.

В начале определяется радиус коронки по зависимости:

$$R'_k = R_{ст} + B_1,$$

где $R_{ст}$ - радиус редуктора привода коронки в зоне выходного вала на котором она зафиксирована, на основе ориентировочных расчетов исходя из мощности привода;

B_1 - ориентировочная величина одноразового максимального заглубления коронки на основе обоснованной схемы обработки и учета накопленного опыта ее проектирования.

Для уточнения радиуса коронки R'_k рассчитываются, при различных возможных значениях числа лопастей $n_3 = (2,3,4,...)$, возможные радиусы по зависимости:

$$R_i = \frac{100Q_{\max}}{K_{H\max} K_{B\max} V_{pl} h_{\max} n_{zi}},$$

где $K_{H\max}$ - максимально допустимое, по условию обеспечения минимальных энергозатрат при вертикальной подаче коронки, значение коэффициента шага фрезерования ($K_H = \frac{H}{R_k}, K_{H\max} = 1,6 - 1,8$);

$K_{B\max}$ - максимальное значения коэффициента заглубления коронки в массив из условия допустимых кинематических изменений заднего кинематического угла ее резцов:

$$K_{B\max} = \frac{R_k - r_{\min}}{R_k} = 1 - \frac{0,95V_{п\max} \cos \theta}{V_{pl} [\Delta\alpha_3]},$$

где θ - угол между нормалью к образующей формы коронки (для резца с радиусом установки r_{\min}) и осью вращения коронки.

Среди рассчитанных R_i выбирается то значение, для которого расхождение с радиусом R'_k минимально. Значение количества лопастей коронки принимается соответствующее этому радиусу.

Величина минимального радиуса установки резцов определяется по зависимости:

$$r_{\min} = R_k (1 - K_{B\max}).$$

Передаточные числа редуктора привода коронки определяются по зависимости:

$$i_1 = \frac{\pi n_1 R_k}{30V_{pl}}, \quad i_2 = \frac{\pi n_2 R_k}{30V_{p2}}.$$

Уточненная величина одноразового максимального заглубления коронки определяется по зависимости:

$$B_1 = (R_k - r_{\min}) n_B,$$

где n_B - количество зарубок для обеспечения максимального обрабатываемого сечения при боковой подаче. Предпочтительно по

критериям производительности и ресурса машины $n_b=3$, можно принимать $n_b=2$.

На шестом этапе осуществляется оптимизация схемы набора резцов по критерию максимальной уравновешенности момента сил сопротивления на коронке.

Седьмой этап предусматривает конструктивную проработку коронки с учетом определенных ранее параметров.

Учитывая, что при конструировании коронки возможно изменение некоторых ее параметров, методом предусматривается моделирование работы в пределах полного цикла обработки забоя и получения основных качественных показателей эффективности ее применения с учетом всех ограничивающих факторов.

На основе анализа результатов моделирования принимается решение об окончании оптимизации или повторении цикла оптимизации с учетом рекомендаций по корректировке некоторых параметров, вытекающих из анализа эффективности ее работы.

Список источников:

1. 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. – 302 с.
2. Гуляев В.Г., Семенченко Д.А. Определение удельных энергозатрат и вектора внешнего возмущения корончатого исполнительного органа проходческого комбайна в различных режимах обработки забоя // Наукові праці ДонДТУ, Випуск 35, серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк ДонДТУ, 2001, с.38-47.
4. Семенченко Д.А. Влияние кинематических изменений заднего и переднего углов поворотного резца на формирование усилия подачи // Наукові праці ДонДТУ, Випуск 27, серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк ДонДТУ, 2001, с.340-344.