

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

БРИДУН Игорь Игоревич



УДК 622.232.7

**ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ И СТРУКТУРЫ СРЕДСТВ
ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА
ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА**

Специальность 05.05.06 Горные машины

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноармейск – 2014 г.

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена на кафедре «Горные машины» ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и наук Украины, г. Красноармейск.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Шабает Олег Евгеньевич,
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»
Министерства образования и науки Украины
(г. Донецк),
заведующий кафедрой «Горные машины»

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Корнеев Сергей Васильевич,
ГВУЗ «Донбасский государственный технический университет»
Министерства образования и науки Украины
(г. Алчевск),
заведующий кафедрой «Горная энергомеханика и оборудование»;

кандидат технических наук,
Косарев Алексей Васильевич,
ОП «ДОНГИПРОУГЛЕМАШ» ГП «НТЦ «УГЛЕИННОВАЦИЯ»
Министерство энергетики и угольной промышленности Украины
(г. Донецк),
главный конструктор.

Защита состоится 20.11.2014 г. в 12⁰⁰ часов
на заседании специализированного ученого совета Д 11.052.05
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»
Министерства образования и науки Украины
пл. Шибанкова 2, II уч. корп. ауд. 204, г. Красноармейск, Украина, 85300;
т. (06239)2-03-09;

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»
Министерства образования и науки Украины
(пл. Шибанкова 2, I уч. корп., г. Красноармейск, Украина, 85300).

Автореферат разослан 17.10.2014 г.

Ученый секретарь
специализированного
ученого совета Д 11.052.05
доктор технических наук, профессор



В.П. Кондрахин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Эффективная работа угольной промышленности как одно из направлений обеспечения энергетической независимости Украины, может быть обеспечена высоким техническим уровнем средств механизации и автоматизации технологических процессов горных работ. Анализ мировых тенденций развития угольной промышленности показывает, что одним из направлений снижения себестоимости добычи полезного ископаемого является концентрация горных работ. Это достигается на основе интенсификации процессов подземного производства с использованием современных технологий и максимального использования потенциальных возможностей техники за счет ее адаптации под горно-геологические и горно-технические условия шахт.

Комбайновый способ проходки горных выработок является наиболее эффективным. Комбайны оснащаются продольно- и поперечно-осевыми резцовыми коронками. Темпы продвижения забоев с появлением современных проходческих комбайнов возросли с 70-80 м/мес до 100-110 м/мес и выше. Анализ перспектив применения высокоэффективных добычных комплексов с объемом добычи 3-6 тыс. т. в сутки показал, что темп проходки выработок должен быть существенно повышен, что может быть достигнуто только при эффективном использовании потенциальных возможностей проходческой техники.

Обработка забоя исполнительным органом проходческого комбайна сопровождается непрерывным износом резцов, что ведет к росту удельных энергозатрат разрушения забоя (до 2х раз между заменами резцов). При этом снижается теоретическая производительность комбайна, увеличивается длительность разрушения единицы объема горного массива и, как следствие, количество циклов нагружения, что приводит к снижению ресурса машины. Несвоевременная замена изношенных резцов приводит к существенным отклонениям показателей технического уровня комбайна от нормативных значений согласно его технической характеристике. Также зачастую происходят поломки резцов в результате встречи с крепким препятствием, приводящие к повышению динамичности нагрузок на исполнительном органе и снижению ресурса комбайна.

Износ и поломки резцов зависят от многих факторов и не могут быть с достаточной точностью спрогнозированы до начала эксплуатации комбайна в конкретных условиях. Применяемая в настоящее время стратегия замены изношенных резцов на базе визуального осмотра малоэффективна, так как приводит к эксплуатации машины с чрезмерно изношенными или поломанными резцами. Поэтому актуальными являются исследования по обоснованию новых методов и разработке средств технической диагностики состояния рабочего инструмента проходческих комбайнов, а также эффективной стратегии замены резцов.

Связь работы с научными программами, планами и темами. Исследования проведены в соответствии с научным направлением Донецкого национального технического университета "Разработка и совершенствование параметров, режимов работы и технологии производства горных машин и комплек-

сов высокого технического уровня”, в рамках плана аспиранта по научно-исследовательской работе, а также научно-исследовательской работы Г5-10 (№ ГР 0110U001051).

Цель исследования - повышение эффективности использования проходческих комбайнов избирательного действия путем обоснованного выбора стратегии замены режущего инструмента на основе предложенных средств и методов диагностирования состояния исполнительного органа с учетом установленных закономерностей влияния выхода из строя резцов на характеристики рабочего процесса комбайна.

Для достижения указанной цели в работе поставлены и решены следующие основные **задачи**:

1. Разработать адекватную математическую модель рабочего процесса проходческого комбайна, учитывающую изменения технического состояния рабочего инструмента.

2. Выполнить теоретические и экспериментальные исследования влияния поломок резцов на производительность и ресурс элементов конструкции проходческого комбайна.

3. Теоретически и экспериментально оценить изменение ресурса и производительности проходческого комбайна при работе с изношенным рабочим инструментом.

4. Обосновать критерий диагностирования технического состояния рабочего инструмента в процессе работы проходческого комбайна.

5. Разработать структуру и алгоритм работы системы диагностики технического состояния резцового исполнительного органа.

6. Обосновать рациональную стратегию замен резцов, адаптивную к условиям эксплуатации и особенностям управления проходческим комбайном.

Объект исследования – процесс разрушения забоя резцовым исполнительным органом проходческого комбайна.

Предмет исследования – закономерности влияния износа и поломки резцов, а также стратегии их замены на показатели эффективности работы проходческого комбайна.

Методы исследований. Достижение поставленной цели обеспечивалось на основе системного подхода и рациональном сочетании теоретических и экспериментальных методов исследований. При разработке математической модели рабочего процесса проходческого комбайна использовались методы теоретической механики, аналитической геометрии и теории резания горных пород. Экспериментальные исследования по установлению закономерностей влияния износа и поломок резцов на формирование нагрузок и удельной энергоемкости процесса разрушения, а также выявлению критериев диагностирования отказов резцов реализованы на основе методов планирования эксперимента в представительных производственных условиях эксплуатации с использованием современных методов и средств электрических измерений. Теоретические исследования выполнены методами имитационного моделирования. Обработка результатов натурных и вычислительных экспериментов осуществлялась на методами теории вероятностей и математической статистики, спектрального анализа,

теории случайных процессов. Оптимизация стратегии замены рабочего инструмента выполнена на базе методов математического программирования.

Научная новизна полученных результатов.

1. Разработана адекватная математическая модель процесса разрушения забоя проходческим комбайном избирательного действия, отличающаяся учетом внезапных поломок резцов с уточненным алгоритмом определения толщины среза через шаг резания и площадь среза, а также постепенного износа рабочего инструмента в виде экспериментально установленной линейной регрессионной зависимости усилия резания от объема разрушенной резцом породы и ее контактной прочности.

2. Впервые теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что в качестве диагностируемого параметра поломки (потери) резца на исполнительных органах проходческих комбайнов, отвечающего условиям однозначности, воспроизводимости и чувствительности, может быть принято отношение амплитуд частотного спектра тока двигателя привода исполнительного органа, соответствующих частоте вращения коронки и ее удвоенному значению. Работа с отсутствующим резцом на коронке в зависимости от его положения в схеме набора приводит к снижению ресурса трансмиссии проходческого комбайна до 70%.

3. Впервые установлено, что диагностируемым параметром степени износа резцов на коронке проходческого комбайна должна быть принята не абсолютная величина износа отдельных резцов, а интегральный показатель, учитывающий их вклад в формирование нагруженности исполнительного органа комбайна в целом – удельные энергозатраты за цикл обработки забоя, рассчитываемые по данным непрерывной регистрации тока двигателя привода резания. Предельная периодичность замены резцов, соответствующая росту удельных энергозатрат разрушения забоя в 2 раза, приводит к снижению ресурса элементов трансмиссии на 40-60%.

4. Впервые разработана математическая модель оптимизации технического обслуживания резцового исполнительного органа проходческого комбайна, адаптируемая к условиям эксплуатации путем использования экспериментально установленной линейной регрессионной зависимости удельных энергозатрат от объема разрушенной породы. Теоретически установлено наличие выраженного максимума темпа проходки выработки в зависимости от параметров стратегии замены резцов - периодичности замены, предельных удельных энергозатрат за цикл разрушения забоя и количества заменяемых резцов, при этом оптимальная стратегия обеспечивает повышение месячного темпа проведения выработки до 30%.

Практическое значение работы:

- разработано программное обеспечение для имитационного моделирования процесса разрушения забоя исполнительным органом проходческого комбайна с учетом выхода из строя резцов, позволяющее получить уточненные исходные данные для расчетов элементов конструкции комбайна;

- разработана методика оперативного выявления поломок режущего инструмента на основе данных непрерывной регистрации тока двигателя привода

резания. Эта информация позволяет исключить длительную работу комбайна с поломанным инструментом, приводящую к сокращению ресурса комбайна до 70%;

- разработана методика оперативной оценки интегрального показателя степени износа режущего инструмента – удельной энергоемкости разрушения за цикл обработки забоя, которая может быть использована при выборе рациональной стратегии замены изношенных резцов;

- разработаны структура и алгоритм функционирования системы технической диагностики режущего исполнительного органа, позволяющая оперативно выявлять поломки режущего инструмента и степень его изношенности, адаптивная к горно-геологическим и горнотехническим факторам, а также к параметрам проходческого комбайна.

Рекомендации по оптимизации стратегии замены режущего инструмента и созданию средств и методов диагностирования состояния исполнительного органа проходческих комбайнов были приняты ГП «Донгипроуглемаш» для использования при модернизации комбайнов КПД и КПА.

Личный вклад соискателя. Теоретические и экспериментальные исследования, вошедшие в диссертационную работу, выполнены совместно с сотрудниками ДонНТУ и института ГП «Донгипроуглемаш» при непосредственном участии автора. Автору принадлежат основные идеи работы, результаты теоретических и экспериментальных исследований, выводы и рекомендации по работе.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы доложены и получили одобрение на: Международной научно-практической конференции «Gornictwo-perspektywy i zagrozenia» (г. Рыбник, Польша, 2014 г); Научно-практической конференции «Донбасс-2020» (г. Донецк, 2014 г); XIII международной научно-технической конференции «Горная энергомеханика и автоматика» (г. Донецк, 2013 г); Молодежной научно-практической конференции «Современное состояние и направления развития информационных технологий» (г. Донецк 2013 г.); VIII Международной научно-технической студенческой конференции «Механика жидкости и газа» (г. Донецк, 2009 г).

Публикации. Основные положения диссертации представлены в 9 научных работах, в том числе 6 статей в специальных научных изданиях (2 – в зарубежных журналах), 3 – материалы конференций.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, содержит 178 страниц, в том числе 123 страницы машинописного текста, 48 рисунков, 14 таблиц, список ссылок из 109 наименований и 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе «Состояние проблемы, цель и задачи исследований» выполнен анализ современного состояния проблемы повышения техниче-

ского уровня проходческих комбайнов на основе повышения эффективности процесса разрушения забоя режущим инструментом.

Вопросам создания и исследования работы проходческих комбайнов посвящены работы многих научно-исследовательских институтов, проектно-конструкторских организаций, высших учебных заведений и заводов-производителей горного оборудования. Значительный вклад в решение этих вопросов внесен академиками Поляковым Н.С., Потураевым В.Н., Докукиным А.В., Франчуком В.П.; докторами технических наук Альшицем Я.И., Бароном Л.И., Бероном А.И., Бойко Н.Г., Бреннером В.А., Глатманом Л.Б., Гуляевым В.Г., Кантовичем Л.И., Картавым Н.Г., Кондрахиным В.П., Красниковым Ю.Д., Малевичем Н.А., Позиным Е.З., Рачеком В.М., Семенченко А.К., Солодом Г.И., Стадником Н.И., Сысоевым Н.И., Хориным В.Н., Шабаевым О.Е., Яцких В.Г. и другими.

Основы теории разрушения горных пород базируются на результатах многочисленных экспериментальных исследований. Полученные в результате методики расчета сил резания используют зависимости, в которых влияние износа резца учитывается величиной проекции площадки затупления на плоскость резания. Вместе с тем, на проходческих комбайнах в основном применяются поворотные резцы, для которых понятие «площадка затупления» неоднозначно. Существующие модели формирования вектора внешнего возмущения не в полной мере учитывают постепенный износ и возможные внезапные поломки режущего инструмента. Не выявлены закономерности влияния износа и поломок режущего инструмента на формирование нагруженности силовых систем комбайна, реализуемый темп проведения выработок и долговечность. Требуют теоретической проработки вопросы оптимизации стратегии замены режущего инструмента на основе косвенных методов диагностики его технического состояния.

Таким образом, научное обоснование критериев и структуры средств технической диагностики исполнительного органа проходческого комбайна является актуальной задачей.

Второй раздел «Математическая модель рабочего процесса проходческого комбайна» посвящен формализации процесса разрушения забоя проходческим комбайном с учетом постепенного износа и возможных поломок режущего инструмента.

Для установления закономерностей влияния технического состояния резцового рабочего инструмента на эффективность разрушения забоя была усовершенствована математическая модель процесса разрушения забоя проходческим комбайном, разработанная на кафедре горных машин ДонНТУ. Модель содержит 60 взаимоувязанных по входам и выходам частных математических моделей функционально законченных элементов 22 типов, основными из которых являются: пространственно перемещающиеся массы - корпус комбайна, поворотная турель, стрела и редуктор исполнительного органа; узлы связи - цилиндрические шарниры подвески, упоры в направляющих выдвигания редуктора исполнительного органа; узлы внутренних возмущений - гидроцилиндры

перемещения исполнительного органа, гидropатроны зажима редуктора исполнительного органа; узлы внешних возмущений - опоры корпуса комбайна на почву выработки; узлы внутренних и внешних возмущений - резцовые коронки; силовой привод - гидросистема комбайна, электропривод резания.

Отличительной особенностью модели рабочего процесса комбайна является учет отказов рабочего инструмента. Внезапные отказы резцов – их поломки при встрече с крепким включением – учитывались путем изменения схемы стружкообразования на резцах в соседних линиях резания. Для этого был разработан уточненный алгоритм расчета толщины среза через шаг резания и площадь среза, который позволяет практически исключить погрешность оценки объемов породы, отделяемых резцами в процессе разрушения забоя.

Резцовый исполнительный орган разрушает забой резцами в определенной последовательности, в результате чего образуется схема стружкообразования, определяющая параметры среза – толщину стружки h_i и шаг резания t_i – на каждом резце, контактирующем с забоем (рис. 1). Для i -того резца с вершиной в т. O_{4i} показаны силы: резания P_{zi} , подачи P_{yi} и боковая P_{xi} . Угол поворота коронки φ . $O_2X_2Y_2Z_2$ – система координат, связанная с корпусом редуктора коронки. Параметры схемы набора: φ_{0i} – угол установки i -го резца; y_{yi} , r_{yi} – расстояния от вершины i -го резца до оси вращения и до торца коронки.

Для расчета параметров стружкообразования на резце с вершиной в точке O_{4i} рассматривались траектории движения резцов с вершинами в точках O_{4hi} , O_{4ti} , O_{4thi} , которые образуют поверхность забоя для рассматриваемого резца и находятся в той же (O_{4hi}) и соседней (O_{4ti} , O_{4thi}) линиях резания.

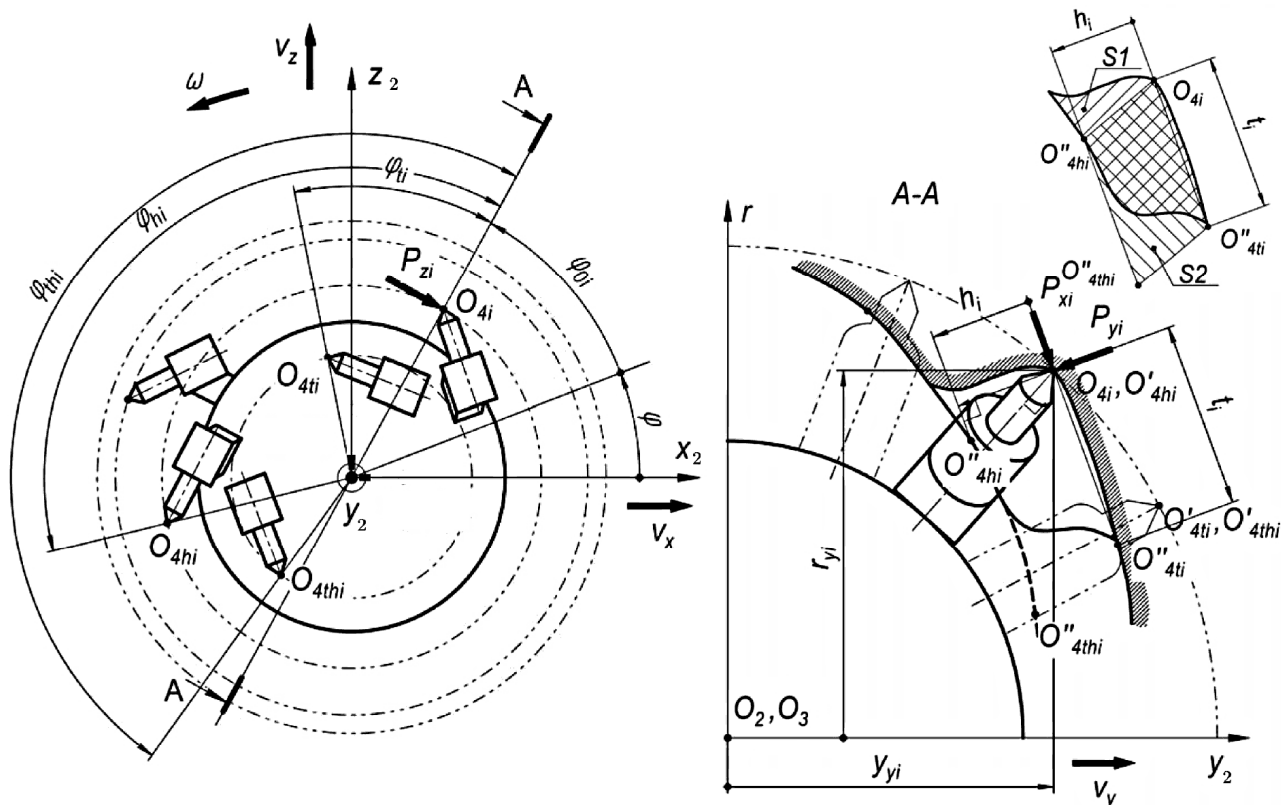


Рис. 1. Формирование параметров среза

Отставание по углу рассматриваемого резца от указанных резцов составляет соответственно φ_{hi} , φ_{ti} , φ_{thi} . Для расчета параметров среза задается плоскость А-А, связанная с забоем и в рассматриваемый момент времени проходящая через ось вращения коронки и вершину резца O_{4i} . При вращении коронки без подачи вершины резцов пройдут через плоскость А-А в точках O'_{4thi} , O'_{4hi} , O'_{4ti} . С учетом подачи коронки на забой с проекциями скорости V_x , V_y , V_z , а также вращения с угловой скоростью ω вершины резцов будут в точках O''_{4thi} , O''_{4hi} , O''_{4ti} . Вычисление площади среза S_1 для резца O_{4i} требует задания хрупко-пластических свойств породы (угла развала борозды). Значительно проще расчет площади четырехугольника $O''_{4thi} O''_{4hi} O''_{4ti} O_{4i}$. Для коронок современных проходческих комбайнов разница между значениями S_1 и S_2 составляет менее 10%. Поэтому площадь рассчитывается как разность площадей треугольников $S_i = S_{\Delta O_2 O''_{4hi} O_{4i}} + S_{\Delta O_2 O''_{4ti} O_{4i}} - S_{\Delta O_2 O''_{4thi} O''_{4ti}} - S_{\Delta O_2 O''_{4hi} O''_{4thi}}$. Таким образом, параметры стружкообразования определяются: шаг резания t_i – как расстояние между точками O_{4i} и O''_{4ti} , а толщина среза – по формуле $h_i = S_i / t_i$. Поломка резца является случайным событием и моделируется как Пуассоновский поток отказов. При этом происходит переназначение соседних резцов для определения параметров среза (O_{4thi} , O_{4hi} , O_{4ti}).

Второй отличительной особенностью модели является учет постепенного отказа - затупления поворотных резцов типа Р32-70 на формирование усилия резания в функции от объема разрушенного горного массива и его контактной прочности:

$$P_{zi} = P_{zoi} \left(1 + \frac{p_k}{p_{k0}} \frac{a}{a_0} k_V V_i \right),$$

где P_{zoi} - усилие на остром резце; V_i - объем породы, разрушенный i -тым резцом с момента замены; k_V - коэффициент регрессии, отражающий износостойкость инструмента; p_k , a , p_{k0} , a_0 - контактные прочности и абразивности забоя соответственно в рассматриваемых и в базовых условиях эксплуатации, для которых было экспериментально получено значение k_V .

Для использования приведенной зависимости в ходе шахтного эксперимента было получено значение $k_V = 0.82 \text{ м}^{-3}$ для базовой контактной прочности $p_{k0} = 320 \text{ МПа}$.

Комплексная математическая модель вектора внешнего возмущения:

$$\left\{ \begin{array}{l} \{\bar{r}_i, \bar{V}_{p,i}, \Delta\alpha_i\} = F_1(\bar{r}_m, (C_1), \bar{V}_m, \bar{\omega}_{m,1}, \varphi, \omega, \bar{\varphi}_{0i}, \bar{y}_{yi}, \bar{r}_{yi}); \\ \bar{P}_{CH} = \bar{P}'_{CH} \text{ при } n_i \leq P(1) = \lambda \Delta t \cdot e^{-\lambda \Delta t}; \\ S_i = S_{\Delta O_2 O''_{4hi} O_{4i}} + S_{\Delta O_2 O''_{4ti} O_{4i}} - S_{\Delta O_2 O''_{4thi} O''_{4ti}} - S_{\Delta O_2 O''_{4hi} O''_{4thi}}; \\ t_i = |O_{4i} O''_{4ti}|; \quad h_i = S_i / t_i; \quad V_i = \int S_i r_{yi} \omega dt; \quad \beta_{ji} = \arctg \frac{y_i - y_{обpj}}{x_i - x_{обpj}}; \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{aligned} & \text{Условие контакта резца:} \\ & (x_i - x_{обpj}) \cos \beta_{ji} + (y_i - y_{обpj}) \sin \beta_{ji} - (L_1 + L_2 \cos \alpha_j) > \sqrt{R_T^2 - (z_i - z_{обpj} + L_2 \sin \alpha_j)^2} \\ & \text{для всех резцов для которых } R_T > |z_i - z_{обpj} + L_2 \sin \alpha_j|; \\ & P_{zi} = P_{zoi} \left(1 + \frac{P_{\kappa}}{P_{\kappa 0}} \frac{a}{a_0} k_V V_i \right); \quad \{Z_i, Y_i\} = F_2(P_{zi}, P_{yi}, \bar{r}_i); \quad \{\bar{P}_M, \bar{M}_{M.1}, M\} = F_3(Z_i, Y_i), \end{aligned} \right\}$$

где $F_1()$ - вектор-функция расчета положения резца; $F_2()$ - вектор-функция расчета мгновенных значений усилия резания и подачи на резце Z_i, Y_i ; $F_3()$ - вектор-функция расчета вектора внешнего возмущения на коронке; $\{\bar{M}_{M.1}, \bar{P}_M, M\}$ - выходные параметры (соответственно вектор момента и силы, момент сопротивления на валу); $\{(C_1), \bar{r}_M, \bar{\omega}_{M.1}, \bar{V}_M, \varphi, \omega\}$ - входные параметры (соответственно матрица направляющих косинусов, радиус-вектор центра масс, угловая и линейная скорости редуктора, а также угол поворота и скорость вращения вала коронки); $\{\alpha_j, \bar{r}_{обpj}, L_1, L_2, R_T\}$ - параметры поверхности забоя (соответственно углы подъема и положение стрелы в предыдущих резах, длины плеч турели и стрелы, радиус коронки); $\bar{P}_{CH}, \bar{P}'_{CH}$ - вектор параметров схемы набора до и после поломки резца; Δt - шаг моделирования; λ - параметр потока отказов резцов; n_i - равномерно распределенное от 0 до 1 случайное число.

Адекватность модели подтверждена результатами натурного эксперимента в условиях конвейерного штрека коренной северной лавы пласта k8 горизонта 450 м участка УПР2 ГОАО «Шахта «Добропольская» ГХК «Добропольеуголь» с регистрацией нагрузок силовых систем комбайна КПД в различных режимах разрушения забоя. Отклонения результатов моделирования мощности двигателя привода резания и усилий гидроцилиндров не более 15 %.

Третий раздел «Исследование влияния поломок резцов на эффективность рабочего процесса комбайна» посвящен установлению закономерностей влияния на ресурс элементов конструкции комбайна поломок резцов и обоснованию критерия их диагностирования.

Исследования проводились на основе вычислительного эксперимента с учетом различных параметров режима разрушения забоя исполнительным органом, физико-механических свойств породных пластов забоя и параметров технического состояния комбайна. Техническое состояние комбайна при этом описывалось параметрами схемы набора коронки и их возможными отклонениями от проектных значений вследствие поломок отдельных резцов. В качестве примера на рис. 2 приведены фрагменты реализаций момента сопротивления на коронке при боковом резе с полным комплектом резцов (а) и без одного резца в 5-той линии резания. Соответствующие функции распределения вероятности момента построены на рис. 2, в. Анализ показал, что выход резца из строя приводит к значительному росту динамичности нагрузок в первую очередь за счет увеличения неравномерности низкочастотной составляющей нагрузки.

Изменение ресурса элементов трансмиссии оценивалось по величине

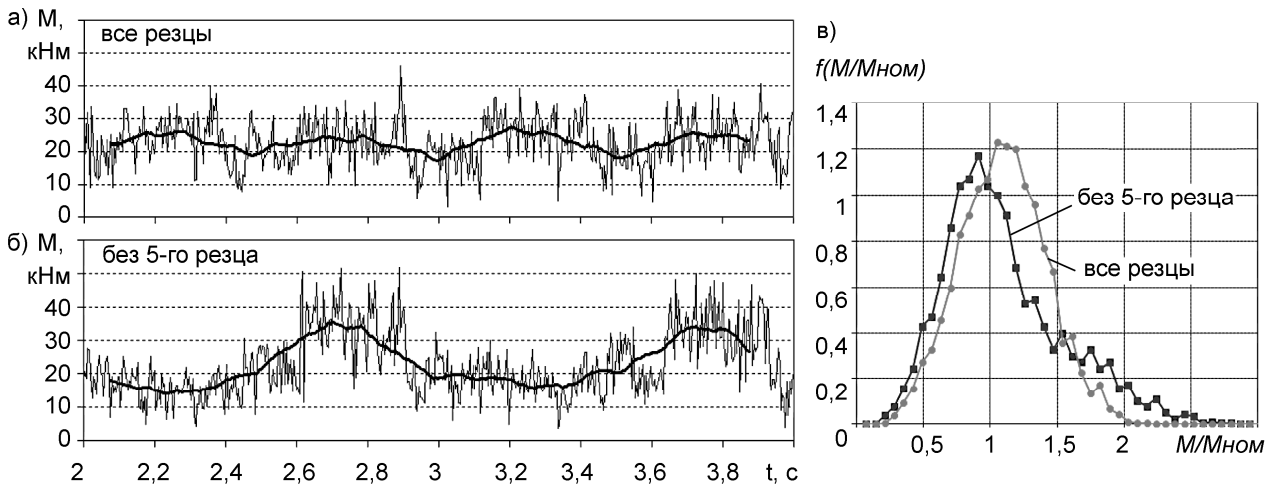


Рис. 2. Нагруженность привода: а – все резцы; б – без 5-го резца; в – функции распределения момента

накопленной повреждаемости на единицу объема разрушенной породы, которая в каждом режиме разрушения забоя рассчитывалась по зависимости:

$$НП_V = \frac{30\omega}{\pi S V_n} \int_{M_0}^{M_{\max}} M^m f(M) dM ,$$

где ω , M - угловая скорость и передаваемый крутящий момент рассматриваемого элемента трансмиссии; S - проекция разрушаемой поверхности забоя в направлении подачи коронки; V_n - скорость подачи коронки на забой; M_0 , M_{\max} - значения крутящего момента, соответствующие для рассматриваемого элемента трансмиссии пределу усталости и пределу текучести; m - показатель степени кривой усталости для рассматриваемого элемента; $f(M)$ - плотность вероятности крутящего момента.

Расчеты показали, что длительная работа проходческого комбайна с вышедшим из строя резцом в зависимости от его положения согласно схеме набора приводит к снижению ресурса элементов трансмиссии до 60-70% для валов и зубчатых колес, до 22-25% - для подшипников.

Анализ результатов моделирования показал, что диагностика поломок резцов в режиме реального времени может быть реализована на основе спектрального разложения фрагментов реализаций тока двигателя привода резания исполнительного органа длительностью, соответствующей 1-3 оборотам коронки. При этом используются коэффициенты спектрального разложения тока двигателя, соответствующие частоте вращения коронки - k_1 и ее удвоенному значению - k_2 (см. рис. 3). На рисунке построены средние значения и ин-

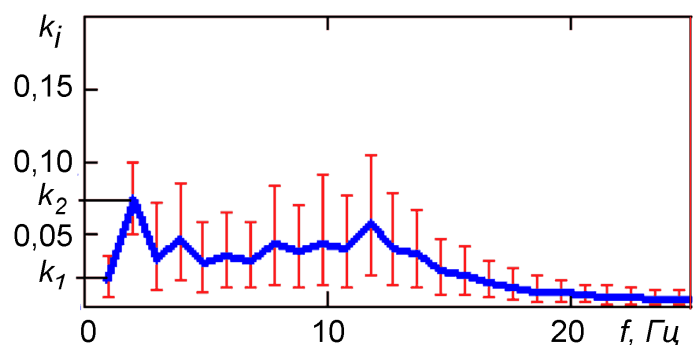


Рис. 3. Распределение частот тока двигателя

тервалы изменения коэффициентов. В случае работы с наличием всех резцов $k_1 < k_2$. Поломка резца, существенно влияющего на формирование нагруженности исполнительного органа, приводит к резкому росту k_1 при практически неизменном k_2 . Диагностируемым параметром является k_{12} - отношение коэффициентов спектрального разложения, соответствующих частоте вращения коронки и ее удвоенному значению.

Экспериментальная проверка в условиях шахты «Добропольская» показала эффективность предложенного критерия. В качестве примера на рис. 4 приведены гистограммы распределения k_{12} при разрушении забоя в режиме бокового реза с полным комплектом резцов (1) и при поломанном резце (2).

Таким образом, в качестве критерия диагностирования поломки резца, отвечающего требованиям воспроизводимости, чувствительности и однозначности для каждого r -го вида режима работы может быть принято условие:

$$k_{12r} > \max_j (k_{12 \max jr}),$$

где k_{12r} - текущее значение k_{12} , рассчитанное за 1 оборот коронки; $k_{12 \max jr}$ - вектор максимальных с 90%-ной вероятностью значений k_{12} при j -том сочетании режимных параметров. Этот вектор может быть получен в процессе самообучения комбайна, что позволяет учесть особенности конструкции комбайна и свойства забоя. Для снижения вероятности ошибки выявления поломки резца в процессе работы комбайна следует анализировать несколько последовательно рассчитываемых в режиме реального времени значений k_{12r} .

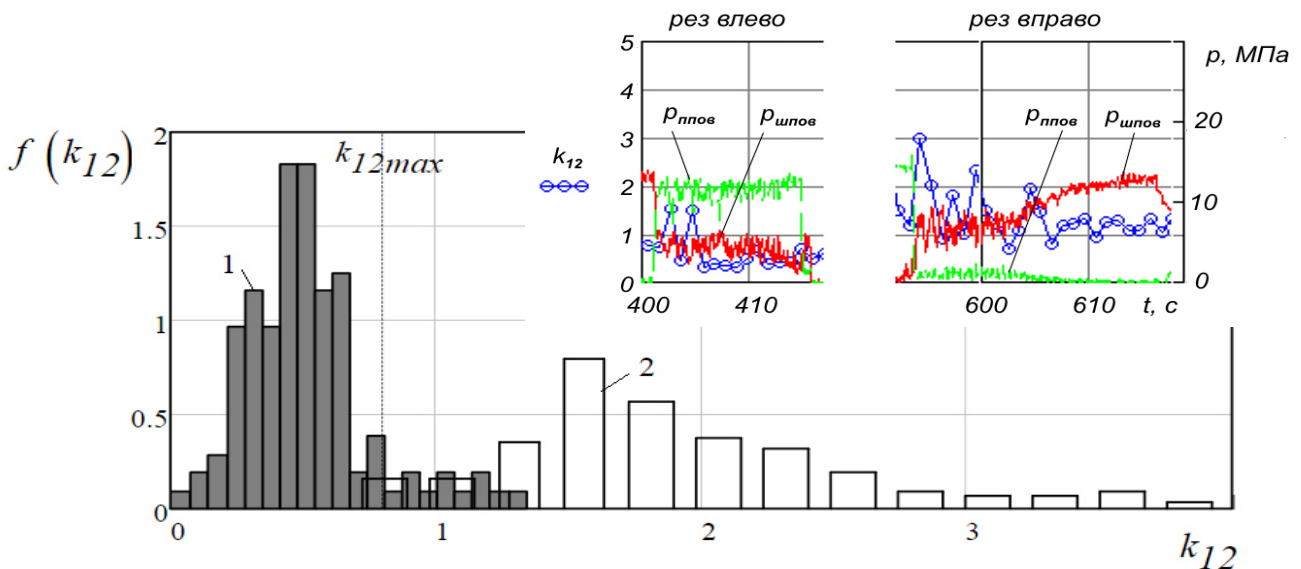


Рис. 4. Распределения вероятности показателя k_{12} при работе со всеми резцами (1) и при поломке резца (2)

Четвертый раздел «Исследование влияния износа резцов на эффективность рабочего процесса комбайна» посвящен установлению закономерностей влияния износа резцов с учетом используемой стратегии их замены на темп проходки, энергоемкость процесса разрушения забоя и ресурс элементов

конструкции комбайна.

Экспериментально установлена линейная регрессионная зависимость удельных энергозатрат за цикл обработки забоя от объема разрушенной горной массы V (м^3) (см. рис. 5) вида $W = W_0 + K_V \cdot V$. В условиях проходки комбайном КПД вентиляционного штрека северной коренной лавы пласта l^1_2 АП «Шахта «Белицкая» ГП «Добропольеуголь» получены значения коэффициентов регрессии $K_V = (0,061 \pm 0,008) \text{кВтч} / \text{м}^3$; $W_0 = (3,49 \pm 0,13) \text{кВтч} / \text{м}^3$ и установлено, что прирост удельных энергозатрат, обусловленный затуплением рабочего инструмента, составлял между заменами инструмента (20...100)%.

С помощью имитационного моделирования показано, что существенное влияние на эффективность работы проходческого комбайна оказывает стратегия замены изношенного режущего инструмента – для групп резцов по мере затупления или одновременная для всех резцов. Во втором случае негативное влияние износа на производительность разрушения забоя и ресурс усиливается. Это объясняется неравномерным распределением объема разрушаемой породы между линиями резания коронки, что ускоряет износ групп резцов, которые в наибольшей мере формируют нагруженность исполнительного органа. В результате износ резцов в различных линиях резания дает различный вклад в прирост удельных энергозатрат (в качестве примера для коронки КПД распределение показано на рис. 6). Таким образом, диагностируемым параметром при обосновании необходимости замен изношенного режущего инструмента должна приниматься не абсолютная величина износа отдельных резцов, а интегральный показатель, учитывающий их вклад в формирование нагруженности исполнительного органа комбайна в целом – удельные энергозатраты за цикл обработки забоя.

Установлено, что теоретическая производительность комбайна по мере разрушения забоя из-за затупления резцов падает по гиперболическому закону (рис. 7). Наиболее интенсивное снижение наблюдается сразу после замены резцов. Для обеспечения производительности комбайна на высо-

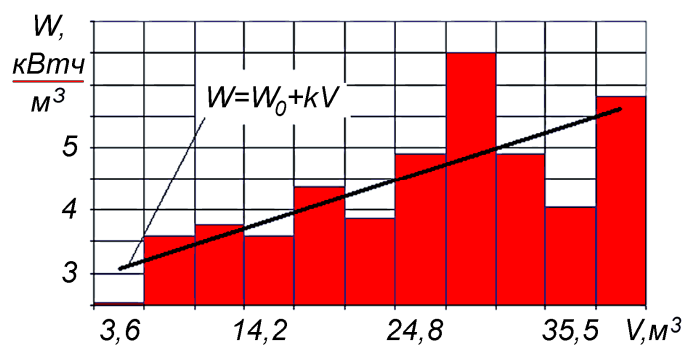


Рис. 5. Изменение средних за цикл удельных энергозатрат от объема разрушенной породы

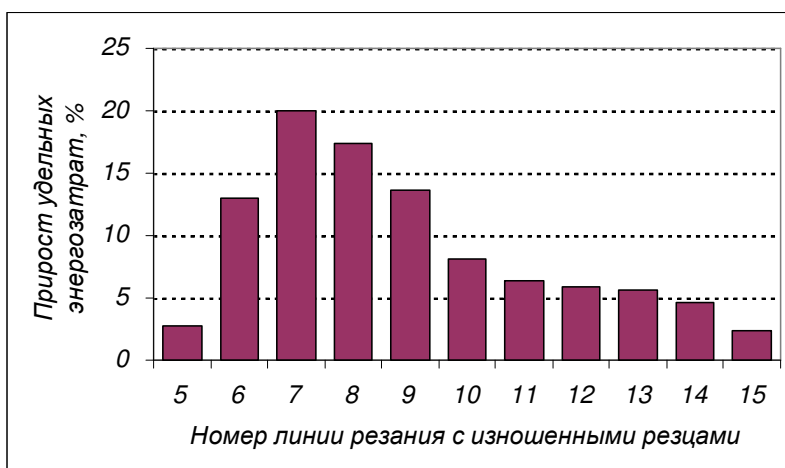


Рис. 6. Вклад износа резцов в формирование W

ком уровне необходима достаточно частая замена режущего инструмента. Однако, с учетом затрат времени на замену эффект может оказаться обратным, что требует при разработке стратегии замены решения задачи оптимизации по критерию максимума темпа проходки.

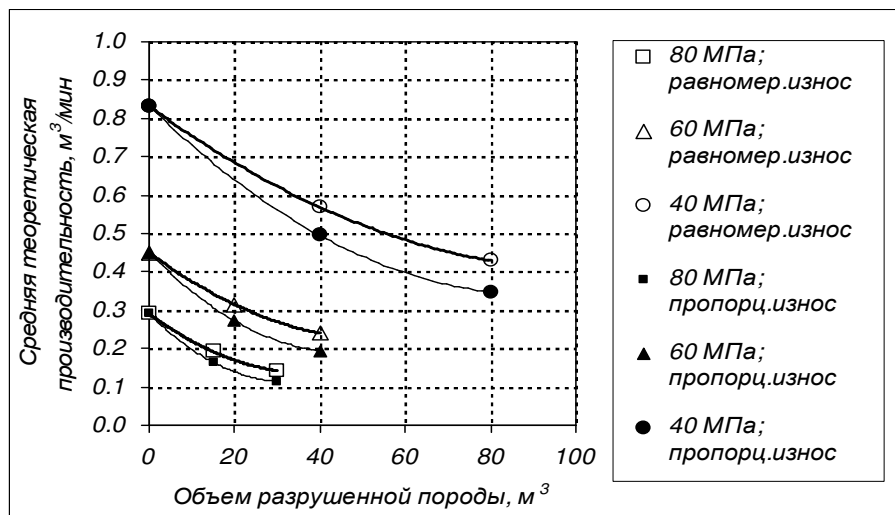


Рис. 7. Изменение теоретической производительности комбайна от объема разрушенной породы

Накопленная в элементах трансмиссии привода резания повреждаемость за цикл обработки забоя возрастает с увеличением объема разрушенной породы по степенной зависимости $НП_V(V) = aV^2 + bV + c$, которая была использована для оценки влияния износа резцов на ресурс комбайна. С целью учета замены резцов было введено понятие «периодичность замены резцов» V_3 - объем горной массы, разрушенной исполнительным органом между заменами режущего инструмента. Для оценки изменения ресурса R трансмиссии привода резания была получена формула:

$$\frac{R}{R_0} = \frac{\frac{a}{3}V_{30}^2 + \frac{b}{2}V_{30} + c}{\frac{a}{3}V_3^2 + \frac{b}{2}V_3 + c},$$

где R_0 - ресурс элемента трансмиссии (в м³), соответствующий базовой периодичности замены V_{30} (соответствует приросту W на 20%).

Установлено (рис. 8), что более частая замена резцов по сравнению с принятой на практике позволяет повысить ресурс элементов трансмиссии до 20-30%. С другой стороны, при предельной периодичности замены резцов, соответствующей росту W в 2 раза, снижение ресурса составит 40-60%.

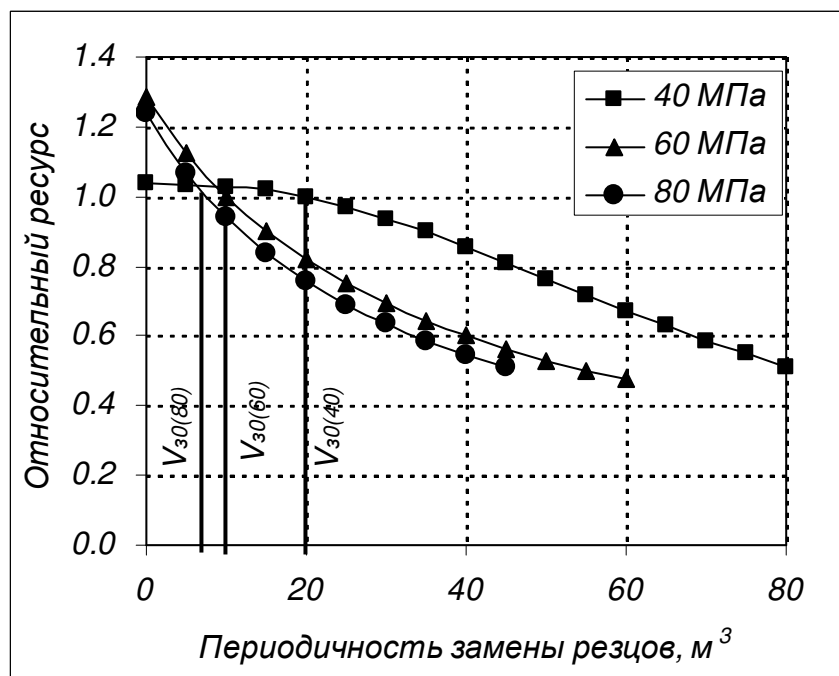


Рис. 8. Влияние периодичности замены резцов на ресурс трансмиссии привода резания

Пятый раздел «Разработка системы диагностики технического состояния режцового исполнительного органа» посвящен разработке математической модели оптимизации стратегии замены резцов и обоснованию структуры и алгоритма функционирования системы диагностики состояния коронки.

Для обоснования рациональной по критерию максимального темпа проходки выработки стратегии замены режущего инструмента была разработана адаптивная к условиям эксплуатации математическая модель оптимизации. Целевая функция – месячный темп проходки выработки:

$$\left\{ \begin{array}{l} W_{cp} = \frac{P_k}{P_{k0}} \left(W_{0б} K_{W \max} - \frac{P_k}{P_{k0}} \frac{a}{a_0} K_V \frac{V_3}{2} \right), \\ q_{pz} = n_p K_{zp} \frac{a}{a_0} \frac{P_k}{P_{k0}} \frac{K_V V_3}{W_{0б} (K_{W \max} - 1)} \\ T_p = k_{opz} T_{cym} \left[1 + (1 - k_2) \frac{1}{RR_0 (V_3)} + \right. \\ \left. + \frac{P_{ном} k_{uP}}{W_{cp}} \cdot \frac{1}{Sk_s} \left[\tau_{креп} + \tau_{ман} + \frac{Sk_s}{V_3} (\tau_0 + q_{pz} \tau_{zp}) \right] \right]^{-1} \\ Q_m = \frac{P_{ном} k_{uP}}{W_{cp}}, \quad V_{cym} = \frac{Q_m T_p}{Sk_s}, \\ V_{мес} = \frac{n_{pд} L}{\frac{L}{V_{cym}} + \frac{T_{мд} L Sk_s}{R_0 RR_0 (V_3)} + T_{пв}}, \end{array} \right.$$

где $n_{pд}$ - число рабочих дней в месяце; L - проектная длина выработки; V_{cym} - суточный темп проходки выработки; $T_{пв}$ - время подготовки выработки к монтажу комбайна и монтажно-демонтажных работ; S - сечение выработки в проходке; k_s - коэффициент перебора породы по контуру выработки; Q_m - теоретическая производительность; T_p - время работы комбайна по разрушению забоя в течение суток; k_{opz} - коэффициент, учитывающий простои комбайна из-за несовершенства организации работ; T_{cym} - длительность рабочего времени в сутки; k_2 - коэффициент готовности комбайна, рассчитанный без учета замен режущего инструмента; $\tau_{креп}$, $\tau_{ман}$ - удельные затраты времени на крепление кровли и на маневры комбайна; τ_0 - длительность подготовительно-заключительных операций за 1 замену резцов; τ_{zp} - удельные затраты времени на замену резца; q_{pz} - количество заменяемых резцов во время одной замены; n_p - количество резцов, участвующих в разрушении забоя; K_{zp} - коэффициент, учитывающий неравномерный износ резцов в различных линиях резания; $K_{W \max}$ - допустимое превышение удельных энергозатрат над минимальным

значением; $P_{ном}$ - номинальная мощность привода резания; k_{uP} - коэффициент использования мощности; $RR_0(V_3)$ - зависимость относительного ресурса от периодичности замен резцов.

Модель учитывает затраты времени на все операции проходческого цикла, а также влияние затупления и периодичности замены режущего инструмента на формирование удельной энергоёмкости процесса разрушения забоя и показателей надежности комбайна. Результат оптимизации - рациональные значения периодичности замены, предельных удельных энергозатрат за цикл разрушения забоя, при достижении которых необходима замена резцов, и количества заменяемых резцов. Установлено наличие выраженного максимума темпа проходки выработки в зависимости от параметров стратегии замены резцов. При этом обеспечиваются затраты на оборудование и расходные материалы, близкие к минимальным. Для условий проходки комбайном КПД на АП «Шахта «Белицкая» ГП «Добропольеуголь» оптимальная стратегия замены резцов позволяет повысить месячный темп проведения выработки до 30%.

Разработаны структура системы технической диагностики резцового исполнительного органа по току двигателя привода резания. Ток статора двигателя фиксируется трансформаторами тока. Критерий диагностирования поломки резца зависит от режима разрушения забоя, который определяется по сигналам «вверх-вниз» и «вправо-влево» кнопочного пульта управления комбайном. Для расчета удельных энергозатрат за цикл обработки забоя необходимо задание временных границ между циклами (кнопка «конец цикла»). Бортовой компьютер согласно приведенному ниже алгоритму осуществляет диагностирование поломок и оптимизацию периодичности замены резцов, сообщая через интерфейс оператору о необходимости ремонтного воздействия.

Алгоритм функционирования системы технической диагностики резцового исполнительного органа (рис. 9) предусматривает на первоначальном этапе эксплуатации самообучение для адаптации к конкретным условиям. При этом применяется традиционная стратегия замены инструмента (раз в сутки). В процессе самообучения за 3-5 суток получают регрессионную зависимость $W(V)$ (блок 4). Далее оптимизируется стратегия замены резцов по мере их износа (блок 8). Рассчитываются оптимальные значения периодичности замены $V_{з.опт}$, максимальных удельных энергозатрат за цикл обработки забоя $W_{max.опт}$, по достижении которых необходима замена резцов, а также количество заменяемых резцов $n_{зр.опт}$. Система переходит в режим реализации оптимальной стратегии технического обслуживания исполнительного органа. При этом диагностика необходимости замены изношенных резцов реализуется путем сравнения полученного значения $W_{max.опт}$ с текущим значением удельных энергозатрат за цикл обработки забоя с учетом линейного прогноза по значениям удельных энергозатрат за последние несколько циклов обработки забоя, прошедших после очередной замены резцов. Диагностика поломок резцов в режиме реального времени (блок 10) реализуется путем сравнения текущего значения k_{12} и мак-

симального в текущем режиме разрушения забоя $k_{12\max j}$. Критерием диагностирования поломки резца является превышение k_{12} над $k_{12\max j}$ в течение $3x$ оборотов коронки.

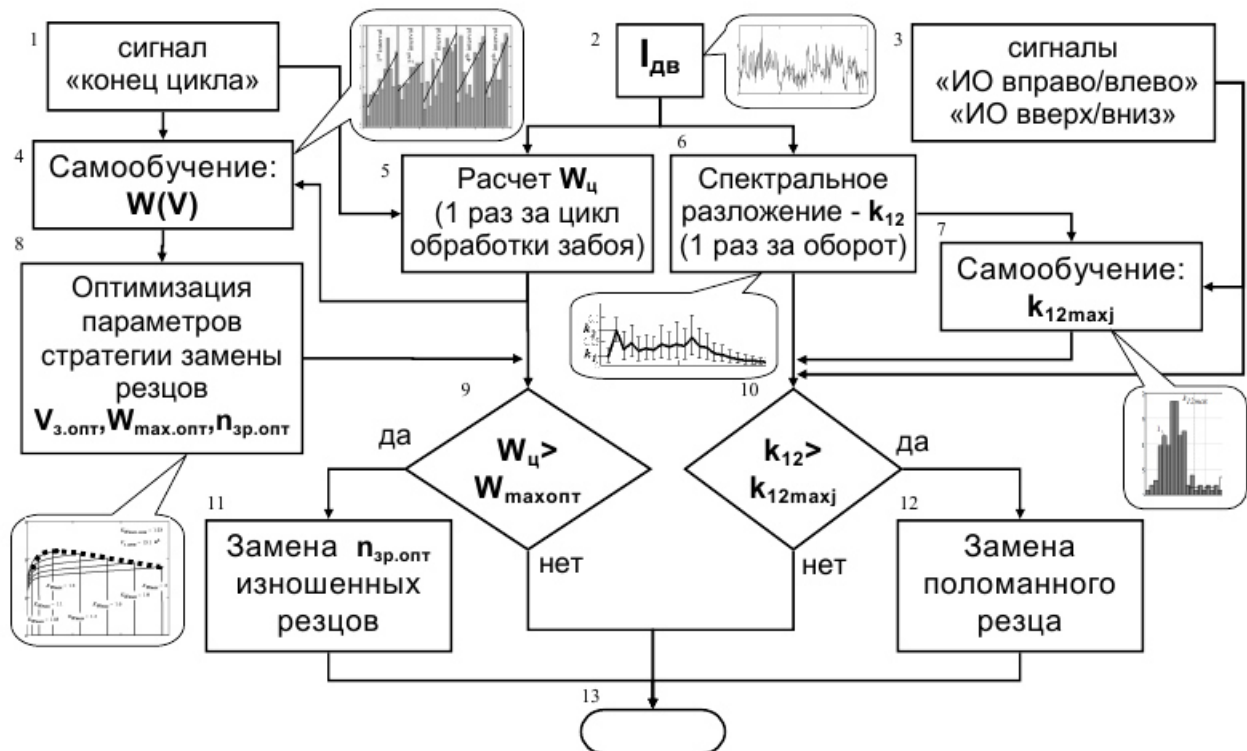


Рис. 9. Алгоритм технической диагностики состояния исполнительного органа

ВЫВОДЫ

В диссертации дано новое решение актуальной научно-технической задачи, имеющей важное народнохозяйственное значение, заключающейся в обосновании критериев и структуры средств технической диагностики режущего исполнительного органа проходческих комбайнов, позволяющих путем выбора стратегии замены режущего инструмента обеспечить повышение темпов проведения выработок и ресурса элементов конструкции комбайна.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы состоят в следующем:

1. Применение современных угледобывающих комплексов требует повышения темпа проведения подготовительных выработок до 250-500 м/мес, что может быть достигнуто только при эффективном использовании потенциальных возможностей проходческой техники. Эффективность работы проходческих комбайнов существенно зависит от технического состояния режущего инструмента на исполнительном органе: экспериментально установлен существенный (до 2х раз) прирост удельных энергозатрат разрушения забоя вследствие постепенного затупления резцов и значительный рост динамичности нагрузок в первую очередь за счет увеличения неравномерности низкочастотной составляющей при поломках резцов. Повышение темпов проведения выработок может быть обеспечено на основе рациональной стратегии технического об-

служивания, базирующейся на эффективных средствах технической диагностики резцового исполнительного органа.

2. Разработана математическая модель процесса разрушения забоя проходческим комбайном избирательного действия, отличающаяся учетом внезапных поломок с уточненным алгоритмом расчета параметров стружкообразования, а также постепенного износа рабочего инструмента в функции от объема разрушенного горного массива и его контактной прочности. Модель может быть использована при разработке методик косвенной диагностики технического состояния режущего инструмента без остановки комбайна и обосновании эффективной стратегии замены изношенного инструмента. Проверка адекватности модели по результатам эксперимента в условиях проходки комбайном КПД конвейерного штрека коренной северной лавы пласта k8 горизонта 450 м участка УПР2 ГОАО «Шахта «Добропольская» показала достаточную точность моделирования - отклонения результатов оценки статистических характеристик мощности двигателя привода резания и усилий на штоках гидроцилиндров подачи исполнительного органа составляют не более 15 %.

3. Теоретически обоснована необходимость оперативной диагностики поломок резцов, так как длительная работа проходческого комбайна с вышедшим из строя резцом может приводить к снижению ресурса элементов трансмиссии исполнительного органа на величину до (60..70)% для валов и зубчатых колес и до (22..25)% для подшипников в зависимости от положения резца на коронке согласно схеме набора.

4. Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что диагностика поломок резцов в режиме реального времени может быть реализована на основе спектрального разложения фрагментов реализаций тока двигателя привода резания исполнительного органа длительностью, соответствующей 1-3 оборотам коронки. Диагностируемым параметром, отвечающим требованиям воспроизводимости, чувствительности и однозначности, является k_{12} - отношение коэффициентов спектрального разложения, соответствующих частоте вращения коронки и ее удвоенному значению. Критерием диагностирования поломки резца для каждого вида режима работы является превышение k_{12} над полученным в процессе самообучения комбайна максимальным (с 90%-ной вероятностью) значением, соответствующим работе с полным комплектом резцов.

5. Экспериментально установлена линейная регрессионная зависимость удельных энергозатрат за цикл обработки забоя от объема разрушенной горной массы $V (м^3)$ вида $W = W_0 + K_V \cdot V$. В условиях проходки комбайном КПД вентиляционного штрека северной коренной лавы пласта l_2 АП «Шахта «Белицкая» ГП «Добропольеуголь» получены значения коэффициентов регрессии $K_V = (0,061 \pm 0,008) кВтч / м^6$; $W_0 = (3,49 \pm 0,13) кВтч / м^3$, а прирост удельных энергозатрат, обусловленный затуплением рабочего инструмента, составлял между заменами инструмента от 20% до 100%. Теоретически установлено, что при предельной периодичности замены резцов, соответствующей росту удель-

ных энергозатрат разрушения забоя в 2 раза, снижение ресурса элементов трансмиссии составляет 40-60%.

6. Диагностируемым параметром при обосновании необходимости замены изношенного режущего инструмента должна быть принята не абсолютная величина износа отдельных резцов, а интегральный показатель, учитывающий их вклад в формирование нагруженности исполнительного органа комбайна в целом – удельные энергозатраты за цикл обработки забоя, которые могут быть рассчитаны путем обработки данных непрерывной регистрации тока двигателя привода резания исполнительного органа.

7. Разработаны адаптивные к условиям эксплуатации математическая модель и метод оптимизации стратегии технического обслуживания резцового исполнительного органа проходческого комбайна по критерию максимального темпа проходки выработки, учитывающие влияние затупления и периодичности замены режущего инструмента на формирование удельных энергозатрат и показателей надежности комбайна, а также затраты времени на операции проходческого цикла. Модель позволяет получить рациональные значения периодичности замены, предельных удельных энергозатрат за цикл разрушения забоя, при достижении которых необходима замена резцов, и количества заменяемых резцов. Оптимальная стратегия замены резцов для условий проходки комбайном КПД на АП «Шахта «Белицкая» ГП «Добропольеуголь» позволяет повысить месячный темп проведения выработки до 30%.

8. Разработаны структура и алгоритм функционирования адаптивной к горно-геологическим и горнотехническим факторам системы технической диагностики и оптимизации технического обслуживания резцового исполнительного органа, позволяющей на основе анализа данных непрерывной регистрации тока двигателя исполнительного органа оперативно выявлять поломки режущего инструмента и степень его изношенности. Результаты работы приняты ГП «Донгипроуглемаш» для использования при модернизации комбайнов КПД и КПА.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные положения работы отражены в следующих публикациях:

1. Шабаев О.Е. Математическая модель процесса разрушения забоя проходческим комбайном с учетом отказов рабочего инструмента / О.Е. Шабаев, Н.В. Хиценко, И.И. Бридун // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Вип. 2(26), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – С. 287-304.

2. Шабаев О.Е. Оптимизация технического обслуживания резцового исполнительного органа проходческого комбайна / О.Е. Шабаев, Н.В. Хиценко, И.И. Бридун // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Вип. 1(27), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2014. – С. 233-246.

3. Шабаев О.Е. Диагностирование отказов резцов проходческого комбайна / О.Е. Шабаев, Н.И. Стадник, Н.В. Хиценко, И.И. Бридун, А.В. Коваленко

// Вісті Донецького гірничого ін-ту / Донецький національний технічний університет. – Донецьк, 2013. – №2(33). – С. 240-250.

4. Шабаев, О.Е. Формирование усилий резания на резцах исполнительного органа проходческого комбайна с учетом их затупления / О.Е. Шабаев, Н.В. Хиценко, И.И. Бридун // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: междунар. сб. науч. тр. – Донецк, 2014. – Вып. 2(48). – С. 177-183.

5. Shabaev O.E. Assessment of influence of cutting tool breakage on drive life time of cutting unit of heading machine / O.E. Shabaev, N.V. Khitsenko, I.I. Bridun, O.K. Moroz // Management systems in production engineering / Politechnika Slaska. – Gliwice, 2014. - №1(13). – С. 33-36.

6. Shabaev O.E. Energy consumption of face cutting by the heading machine taking into account cutting-tools' blunting / O.E. Shabaev, N.V. Khitsenko, I.I. Bridun, O.K. Moroz // Management systems in production engineering / Politechnika Slaska. – Gliwice, 2014. - №2(14). – С. 200-209.

7. Бридун И.И. Исследование влияния степени затупленности резцов на удельные энергозатраты процесса разрушения забоя / И.И. Бридун, О.Е. Шабаев, Н.В. Хиценко // Современное состояние и направления развития информационных технологий: Материалы молодежной научно-практической конференции / ПАО «Научно-исследовательский институт горной механики им. М.М.Федорова». – Донецк: НИИГМ им. М.М.Федорова, 2013. – С. 28-30.

8. Бридун И.И. Математическая модель процесса регулирования нагрузки на исполнительный орган проходческого комбайна / И.И. Бридун, О.Е. Шабаев, Н.В. Хиценко // Механика жидкости и газа: Материалы VIII Международной научно-технической студенческой конференции. - Донецк: ДонНТУ, 2009. – С. 24-25.

9. Бридун И.И. Обоснование рациональных способов регулирования нагрузки на исполнительный орган проходческого комбайна / И.И. Бридун, О.Е. Шабаев, Н.В. Хиценко // Механика жидкости и газа: Материалы VIII Международной научно-технической студенческой конференции. - Донецк: ДонНТУ, 2009. – С. 19-23.

Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве:

В работах [1-7] автору принадлежат постановка задач и выводы; дополнительно следует указать личный вклад: [1] - алгоритм стружкообразования; [2] - математическая модель оптимизации технического обслуживания исполнительного органа; [3] - обоснование критерия поломки резца; [4] - регрессионная зависимость усилия на резце от объема разрушенной породы; [5-7] - зависимости влияния технического состояния резцов на показатели эффективности работы комбайна. В работах [8, 9] автор установил влияние режимных параметров на эффективность работы комбайна.

АНОТАЦІЯ

Бридун І. І. Обґрунтування критеріїв і структури засобів технічної діагностики виконавчого органу прохідницького комбайну. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.06 – Гірничі машини. – ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, 2014.

У роботі подано нове вирішення актуального науково-технічного завдання, яке полягає в обґрунтуванні критеріїв і структури засобів технічної діагностики різцевого виконавчого органу прохідницьких комбайнів, що дозволяють шляхом вибору стратегії заміни різального інструменту забезпечити підвищення темпів проведення виробок і ресурсу елементів конструкції комбайна.

Розроблено математичну модель процесу руйнування вибою прохідницьким комбайном виборчої дії, що відрізняється урахуванням раптових поломок, а також спрацюванням робочого інструменту. Встановлено, що робота з відсутнім різцем на коронці залежно від його положення в схемі набору призводить до зниження ресурсу трансмісії прохідницького комбайна до 70 %. Параметром діагностування полів різців є частка коефіцієнтів спектрального розкладання струму двигуна, відповідних частоті обертання коронки і її подвоєному значенню. При граничній періодичності заміни зношених різців зниження ресурсу елементів трансмісії становить 40-60 %. Параметром діагностування необхідності заміни зношених різців є питомі енерговитрати за цикл обробки вибою. Розроблено структуру й алгоритм функціонування системи технічної діагностики та оптимізації технічного обслуговування різцевого виконавчого органу. Результати роботи прийняті ДП «Дондівпровуглемаш» для використання під час модернізації комбайнів КПД і КПА.

Ключові слова: прохідницький комбайн, різець, зношування, критерій діагностування, темп проходження, ресурс, технічне обслуговування.

АННОТАЦИЯ

Бридун И. И. Обоснование критериев и структуры средств технической диагностики исполнительного органа проходческого комбайна. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06 – Горные машины. – ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, 2014.

В работе дается новое решение актуальной научно-технической задачи, заключающейся в обосновании критериев и структуры средств технической диагностики резцового исполнительного органа проходческих комбайнов, позволяющих путем выбора стратегии замены режущего инструмента обеспечить повышение темпов проведения выработок и ресурса элементов конструкции комбайна.

При разрушении забоя исполнительным органом проходческого комбайна происходит непрерывный износ резцов, который приводит к изменению их формы и конструктивных параметров, что ведет к росту удельных энергозатрат

разрушения забоя. При этом снижается теоретическая производительность комбайна, увеличивается длительность разрушения единицы объема горного массива и, как следствие, количество циклов нагружения, что приводит к снижению ресурса машины. В результате несвоевременная замена изношенных резцов может привести к существенным отклонениям показателей технического уровня комбайна от нормативных значений согласно его технической характеристике.

Усовершенствована разработанная на кафедре горных машин ДонНТУ математическая модель рабочего процесса проходческого комбайна. Модель включает в себя модели подсистем конструкции, трансмиссии, системы управления гидропривода. Отличительной особенностью модели является усовершенствованная модель формирования вектора внешнего возмещения на исполнительном органе. При формировании параметров среза на отдельном резце вычисляется шаг резания, затем площадь среза, через которую рассчитывается толщина среза. Такой подход необходим для корректного моделирования стружкообразования в случае поломки резца и учитывает все возможные режимы движения коронки. Для учета постепенного затупления резцов усилие резания линейно возрастает в зависимости от отделенного резцом объема породы.

Установлено, что при поломке резца момент в трансмиссии привода исполнительного органа имеет значительно большую неравномерность по низкочастотной составляющей. Работа с отсутствующим резцом на коронке в зависимости от его положения в схеме набора приводит к снижению ресурса трансмиссии проходческого комбайна до 70 %. Для выявления поломок режущего инструмента было использовано спектральное разложение Фурье тока двигателя по частотам, кратным частоте вращения исполнительного органа. Установлено что первый коэффициент спектрального разложения при поломке резца существенно возрастает, тогда как второй, соответствующий удвоенной частоте вращения коронки, практически не изменяется. С учетом изложенного, предложен диагностируемый показатель – отношение 1-го и 2-го коэффициентов спектрального разложения. Критериям диагностирования поломки является превышение этого отношения над полученным в результате предварительного самообучения комбайна в данном режиме разрушение забоя предельным значением.

Экспериментально установлена линейная регрессионная зависимость удельных энергозатрат за цикл обработки забоя от объема разрушенной горной массы при этом прирост удельных энергозатрат, обусловленный затуплением рабочего инструмента, составлял между заменами инструмента (20...100) %. Теоретически установлено, что при предельной периодичности замены резцов, соответствующей росту удельных энергозатрат разрушения забоя в 2 раза, снижение ресурса элементов трансмиссии составляет 40-60 %. Диагностируемым параметром при обосновании необходимости замены изношенного режущего инструмента должна быть принята не абсолютная величина износа отдельных резцов, а интегральный показатель, учитывающий их вклад в формирование нагруженности исполнительного органа комбайна в целом – удельные энергозатраты за цикл обработки забоя, которые могут быть рассчитаны путем обработ-

ки данных непрерывной регистрации тока двигателя привода резания исполнительного органа.

Для обоснования рациональной стратегии замен была разработана математическая модель оптимизации технического обслуживания коронки. Целевой функцией модели является месячный темп проходки выработки. При этом обосновываются оптимальные значения переменных проектирования – периодичности замены резцов и предельной удельной энергоёмкости разрушения забоя. Разработаны структура и алгоритм функционирования адаптивной к горно-геологическим и горнотехническим факторам системы технической диагностики и оптимизации технического обслуживания резцового исполнительного органа, позволяющей на основе анализа данных непрерывной регистрации тока двигателя исполнительного органа оперативно выявлять поломки режущего инструмента и степень его изношенности. Результаты работы приняты ГП «Донгипроуглемаш» для использования при модернизации комбайнов КПД и КПА.

Ключевые слова: проходческий комбайн, резец, износ, критерий диагностирования, темп проходки, ресурс, техническое обслуживание.

SUMMARY

Bridun I.I. Justification criteria and structure of means of technical diagnostics of road-header's cutting head. – Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.05.06 – Mining machines. – SHEE «Donetsk National Technical University», Donetsk, 2014.

A new solution of actual scientific and technical problem that consists in justification of the criteria and structure of means of technical diagnostics cutting head of road headers, enabling a choice of strategy of cutting tool replacing to ensure higher tunneling rates and lifetime of combine's structural elements is given in the thesis.

The mathematical model of the process of destruction face road-header selective action, taking into account the differing unscheduled, as well as a working tool wear. Found that working with a broken tool at the cutting head, depending on its position in the scheme set leads to lower life-time transmission of road-header to 70 %. Parameter diagnosing failures cutting tools is the ratio of the coefficients of the spectral decomposition of the motor current, corresponding to the frequency of rotation of the cutting head and its twice the value. At utmost replacement intervals worn tools reduction in the life-time elements of transmission is 40-60 %. Parameter diagnosing the need to replace worn tools is the specific energy consumption per face cutting cycle. Developed the structure and functioning algorithm of technical diagnostics and maintenance optimization cutting head. The results adopted GP «Dongiprouglemash» for use in modernization of the KPD and KPA road-headers.

Key-words: road-header, cutter, wear, diagnostic criteria, tunneling rate, life-time, maintenance.

Отпечатано на ризографе
ООО фирма “ДРУК-ИНФО”
Подп. к печати 13.10.2014 г.
Услов. печат. л. 0,9
Тираж 100 экз. Заказ № 382
83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, к. 113
тел. 335-64-55