

**О.Е. Шабаев** /д.т.н./, **И.И. Бридун** /к.т.н./  
 ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

## **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПОЛОМОК РЕЗЦОВ ОСЕВОЙ КОРОНКИ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА ТИПА П110-04**

*В работе показано, что эксплуатация проходческого комбайна с вышедшим из строя резцом может привести к существенному снижению ресурса элементов машины. Предложен метод диагностирования поломок резцов на продольно-осевой коронке в режиме реального времени на основе спектрального разложения тока в двигателе привода резания исполнительного органа. Установлено, что в качестве диагностируемого параметра может быть принято отношение коэффициентов спектрального разложения, соответствующих частоте вращения коронки и ее утроенному значению.*

**Ключевые слова:** проходческий комбайн, режущий инструмент, исполнительный орган, диагностика.

### **Постановка проблемы**

Анализ перспектив применения высокоэффективных добычных комплексов показал, что темп проходки выработок должен быть существенно повышен, что может быть достигнуто только при эффективном использовании потенциальных возможностей проходческой техники, в том числе при параметрах исполнительного органа, обеспечивающих эффективное разрушение горной породы. Износ и поломки резцов зависят от многих факторов и не могут быть с достаточной точностью спрогнозированными до начала эксплуатации комбайна в конкретных условиях.

Применяемая операторами комбайнов стратегия замены изношенных резцов на базе визуального осмотра малоэффективна, так как приводит к эксплуатации машины с чрезмерно изношенными или поломанными резцами. Так, по результатам промышленных испытаний резцов фирмой «Горный инструмент» [1] в очистных забоях шахт Кузбасса получены данные о причинах отказа этих резцов: износ корпуса одно-сторонний с выломом режущей вставки составляет 45 %; износ корпуса равномерный – 27 %; потери резцов – 25 %; излом корпуса резца – 3 %.

Согласно этим экспериментальным результатам, лишь 27 % резцов вырабатывают свой ресурс полностью. Почти 50 % резцов выходят из строя преждевременно, а 25 % резцов – теряются.

В результате несвоевременная замена изношенных резцов может привести к существенным отклонениям показателей технического уровня комбайна от нормативных значений согласно его технической характеристике.

### **Анализ последних исследований и публикаций**

В работе [2] установлено, что длительная работа проходческого комбайна с продольно-поперечной коронкой и вышедшим из строя резцом может приводить к существенному снижению ресурса элементов трансмиссии исполнительного органа – на величину до 60-70 %. Существующие методики технической диагностики состояния рабочего инструмента основаны на визуальном осмотре исполнительного органа на предмет наличия резцов на коронке, что требует остановки комбайна. Такая стратегия замены малоэффективна, так как приводит к эксплуатации машины с поломанными или отсутствующими резцами.

Для проходческого комбайна КПД с аксиальными коронками разработана методика определения поломок резцов [3]. Вместе с тем режим обработки забоя исполнительными органами, оснащенными осевыми коронками (П110-4 и другие комбайны), существенно отличается от режимов работы аксиальных коронок, что требует дополнительных исследований.

### **Цель (задачи) исследования**

Целью настоящей работы является установление параметров диагностирования состояния исполнительного органа проходческого комбайна П110-04, оснащенного продольно-осевой коронкой, и предельных значений параметров диагностирования, обеспечивающих повышение ресурса машины.

### **Основной материал исследования**

Модельные исследования были проведены на основе математической модели формирования

вектора внешнего возмущения, действующего на продольно-осевую коронку [4]. Основными факторами, влияющими на характеристики рабочего процесса проходческого комбайна, являются: характеристики разрушаемого забоя – сечение, структура, крепость породных слоев; параметры технического состояния комбайна; схема обработки забоя – последовательность режимов разрушения, их параметры (скорость подачи и вращения коронки, глубина зарубки и шаг фрезерования).

Следует отметить, что для проходческого комбайна избирательного действия существует три режима обработки забоя: зарубка, боковой рез, вертикальный рез (вверх/вниз). При этом зарубка, как правило, осуществляется в наиболее слабом месте забоя (угольный пласт), что обуславливает более низкие максимальные нагрузки на исполнительном органе, чем в других режимах, и, как следствие, не оказывает влияния на формирование накопленной повреждаемости. Поэтому режим зарубки при планировании модельного эксперимента не учитывался.

Последовательность режимов обработки забоя при определении накопленной повреждаемости в элементах трансмиссии привода исполнительного органа комбайна также не учитывается, так как согласно [5] исходными данными для расчета элементов трансмиссии являются данные диаграммы нагружения.

Параметры реальной конструкции коронки ввиду погрешностей технологии изготовления отличаются от заданных параметров схемой набора. Эти отклонения были учтены в вычислительном эксперименте как дополнительный случайный фактор путем ввода в математическую модель случайных величин, моделирующих отклонения координат резцов.

Параметры режима разрушения забоя корон-

ками – глубина зарубки  $\Delta L$ , шаг фрезерования  $\Delta H$ , скорость подачи  $V_n$  и вращения  $\omega$  – существенно влияют на нагруженность исполнительного органа. Поэтому при планировании вычислительного эксперимента задавались различные значения  $\Delta L$  и  $\Delta H$  (с учетом конструкции исполнительного органа), а значения скоростей подбирались с учетом физико-механических свойств породы для обеспечения максимальной производительности.

Эксперимент реализовывался как полнофакторный, с перебором всевозможных сочетаний. Регистрируемыми параметрами являлись момент в трансмиссии и ток приводного двигателя. В качестве примера на рис. 1 приведены фрагменты изменения крутящего момента за один оборот коронки.

Как показали результаты моделирования, выход резца из строя приводит к значительному росту динамичности нагрузок и, в первую очередь, за счет увеличения неравномерности низкочастотной составляющей нагрузки (частота вращения коронки). Для случаев полного комплекта резцов и отсутствия в схеме набора 6-го резца построена диаграмма нагружения, приведенная на рис. 2.

Анализ рис. 2 показал, что поломка резца приводит к повышению вероятности максимальных и минимальных значений момента при некотором снижении вероятности его средних значений. Это подтверждает, что при отсутствии резца изменяется накопленная повреждаемость в элементах трансмиссии, что оказывает влияние на ресурс.

В качестве количественной характеристики оценки ресурса комбайна принималась накопленная повреждаемость. Накопленная повреждаемость рассчитана по зависимости:

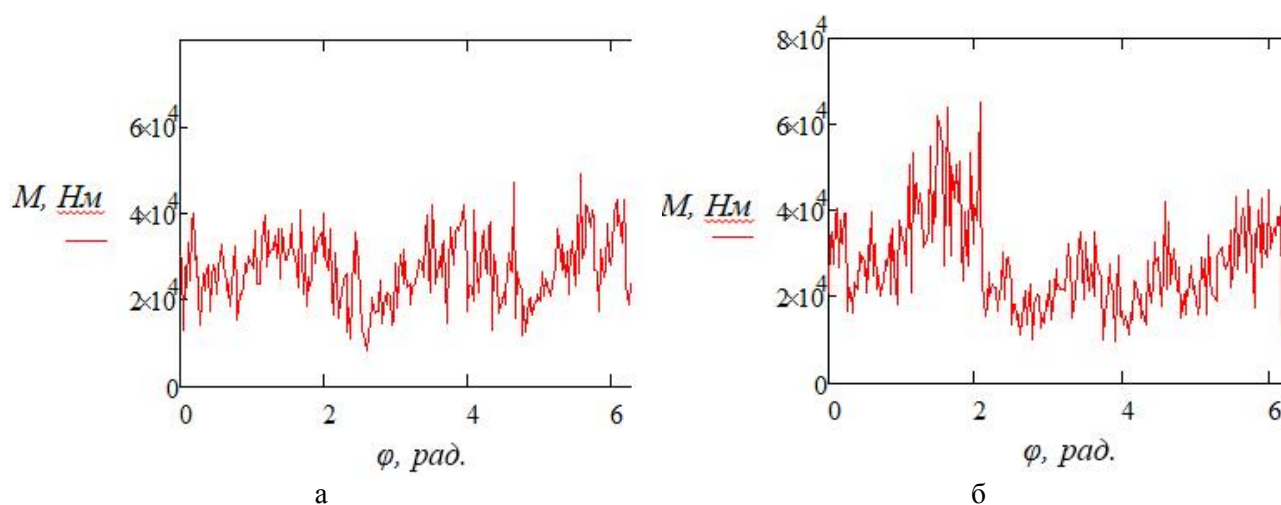


Рис. 1. Изменение крутящего момента, формирующегося на коронке при одном обороте исполнительного органа в режиме бокового реза: а – при наличии всех резцов, б – при отсутствии 6-го резца

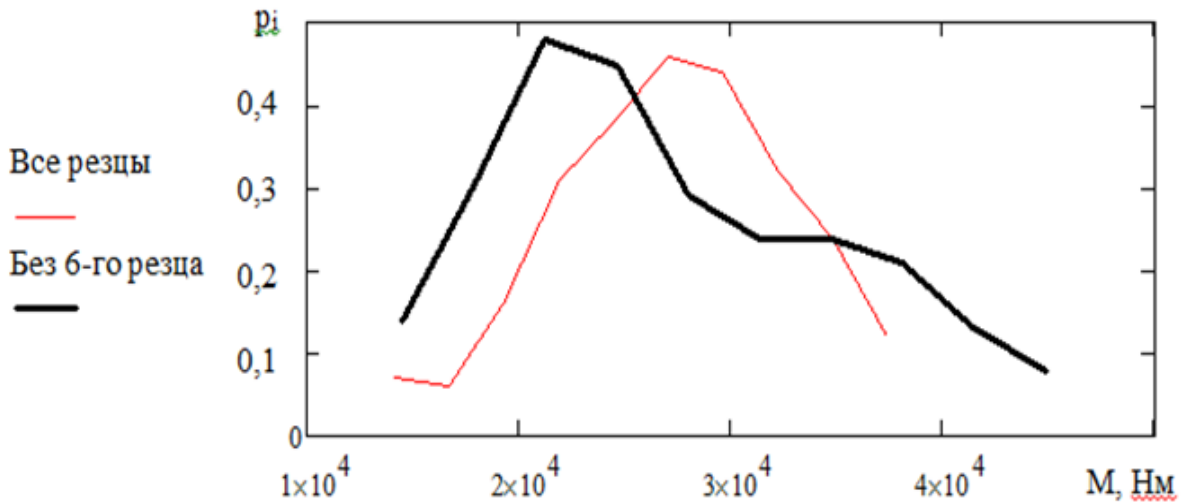


Рис. 2. Распределение вероятности момента сопротивления на исполнительном органе комбайна в режиме бокового реза

$$НП_v = \frac{30\omega}{\pi S V_n} \int_0^{M_{max}} M^m f(M) dM,$$

где  $\omega$ ,  $M$  – 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;  $M_{max}$  – значение крутящего момента, соответствующее для рассматриваемого элемента трансмиссии пределу текучести;  $m$  – показатель степени кривой усталости для рассматриваемого элемента;  $f(M)$  – плотность вероятности крутящего момента.

Изменение ресурса элементов трансмиссии при постоянной работе с поломанным резцом, по сравнению с работой при полном комплекте резцов, оценивалось в процентах:

$$\delta T = 100 \frac{НП_L^{-1} - НП'_L{}^{-1}}{НП_L^{-1}},$$

где  $НП_L$ ,  $НП'_L$  – повреждаемости, накопленные за метр проходки выработки при работе с полным комплектом резцов и с поломанным резцом, соответственно.

Анализ результатов вычислительного эксперимента показывает существенное (1,2-4 раза) снижение ресурса элементов исполнительного органа при отсутствии 4-го, 6-го и 7-го резцов. При этом следует отметить, интенсивность изменения ресурса сильно возрастает при уменьшении сечения коронки и, как следствие, уменьшении количества резцов, контактирующих с массивом, что характерно при разрушении породы высокой крепости. Таким образом, одним из направлений повышения ресурса элемен-

тов трансмиссии привода исполнительного органа проходческого комбайна может быть диагностирование без остановки машины состояния резцов при разрушении крепких пород.

Современные проходческие комбайны оснащены средствами контроля рабочих параметров элементов машины, при этом, как правило, контролируется величина тока в двигателе привода резания исполнительного органа. Поэтому в качестве фиксируемого параметра для диагностики технического состояния коронки принимаем ток двигателя. В качестве характеристик процесса изменения тока в двигателе принимаем коэффициенты спектрального разложения тока, получаемые методом Фурье:

$$k_j = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\left( \sum_{k=1}^n x_k \cos\left(\frac{2\pi jk}{n}\right) \right)^2 + \left( \sum_{k=1}^n x_k \sin\left(\frac{2\pi jk}{n}\right) \right)^2},$$

$$j = 1 \dots \frac{n}{2}.$$

При этом выбираем коэффициенты амплитуд спектрального разложения, соответствующие частоте вращения исполнительного органа –  $k_1$  и частоте вращения спирали –  $k_3$  (исполнительный орган имеет 3 спирали).

Некоторые результаты обработки данных модельного эксперимента по определению величины  $k_{13}$ , соответствующей отношению коэффициентов  $k_1$  к  $k_3$ , приведены в табл. 1.

Анализ таблицы показывает, что в случае отсутствия резцов, оказывающих существенное влияние на ресурс элементов трансмиссии, минимальное значение коэффициента  $k_{13}$  с вероятностью 0,9 – не меньше 0,79, а при полном комплекте резцов величина этого же коэффициента не превышает значения 0,7.

Табл. 1. Изменение коэффициента  $k_{13}$  в случае отсутствия  $i$ -го резца при попутном фрезеровании

$\Delta L$	$\Delta H$	Все резцы исправные, $k_{13max}$	Отсутствует резец №, $k_{13min}$	
			1	4
300	450	0,691	0,465	1,249
	300	0,481	0,293	0,943
	160	0,418	0,269	0,792

Таким образом, в качестве критерия диагностирования отсутствия резцов можем принять условие:  $(k_{13max})_{max} > k_{13j}$ , где  $(k_{13max})_{max}$  – максимальное значение коэффициента  $k_{13}$ , полученное в процессе обработки забоя с различными параметрами при наличии всех резцов в начале эксплуатации машины (самообучение комбайна);  $k_{13j}$  – текущая величина  $k_{13}$ , полученная за один оборот коронки в процессе эксплуатации комбайна.

**Выводы**

Длительная работа проходческого комбайна с вышедшим из строя резцом может приводить к снижению ресурса элементов трансмиссии исполнительного органа на величину до 400 % в зависимости от схемы разрушения, крепости породы и положения резца на коронке согласно схеме набора. Поэтому необходима разработка средств технической диагностики технического состояния режущего инструмента без остановки комбайна.

Установлено, что диагностика поломок резцов на продольно-осевой коронке в режиме реального времени может быть реализована на основе спектрального разложения фрагментов реализаций тока в двигателе привода резания исполнительного органа длительностью, соответствующей одному–трем оборотам коронки. Диагностируемым параметром, отвечающим требованиям воспроизводимости, чувствительности и однозначности, является отношение коэффициентов спектрального разложения, соответствующих

частоте вращения коронки и ее утроенному значению.

**Список литературы**

1. Крестовоздвиженский, П. Д. Повышение прочности тангенциальных поворотных резцов горных очистных комбайнов / Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Крестовоздвиженский Павел Дмитриевич. – Новокузнецк, 2011. – 146 с.
2. Shabaev, O.E. Assessment of influence of cutting tool breakage on drive life time of cutting unit of heading machine / O.E. Shabaev et al. // Management Systems in Production Engineering. – 2014. – No.1 (13). – P. 33-36.
3. Шабаев, О.Е. Диагностирование отказов резцов проходческого комбайна / О.Е. Шабаев [и др.] // Вісті Донецького гірничого ін-ту. – Донецьк: Донецький національний технічний університет. – 2013. – № 2 (33). – С. 240-250.
4. Шабаев, О.Е. Математическая модель процесса разрушения забоя проходческим комбайном с учетом отказов рабочего инструмента / О.Е. Шабаев, Н.В. Хищенко, И.И. Бридун // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – Вип. 2(26). – С. 287-304.
5. ГОСТ 25.101–83. Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статического представления результатов. – Введ. 01.07.84. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 29 с.

O.E. Shabaev /Dr. Sci. (Eng.), I.I. Bridun /Cand. Sci. (Eng.)/  
Donetsk National Technical University (Donetsk)

**DIAGNOSIS OF CUTTER FAILURES OF A LONGITUDINALLY ROTATING CUTTING HEAD OF THE HEADING MACHINE TYPE П110-04**

**Background.** The experience of the operation of heading machines shows that 50 % of cutters break down prematurely, and 25 % – lost. Breakage of the cutters depends on many factors and cannot be with sufficient accuracy predicted prior to the operation of the machine. Failure to replace the cutters in time can lead to significant deviations of indicators of the technical level of the machine from normative values. Development of a method to diagnose the state of the cutting tool of heading machines equipped with a longitudinally rotating cutting head is a topical scientific and technical problem.

**Materials and/or methods.** The method of simulation modeling of the working process of a heading

machine adopted as the main method for research. In modeling the following factors considered: the coal face characteristics – section, structure, rock layers strength; the parameters of the technical condition of the machine; the coal face processing scheme – the sequence of breaking modes, their parameters (feed speed and rotation of the cutting head, depth of the notches and milling step). The experiment implemented with the exhaustive search of all possible combinations. The recorded parameters were torque in the transmission and the current in the drive motor. A spectral Fourier expansion of the motor current at frequencies multiple of the rotation frequency of the cutting unit used to detect breakage of the cutting tool.

**Results.** It is established that in case of breakage of the cutter the torque in the transmission of the drive of the cutting unit is much more uneven in low-frequency component. A long work of heading machine with the broken cutter leads to a decrease in the resource of the transmission of the cutting unit by up to 400 % depending on the scheme of breakage, the strength of the rock, and the cutter position on the cutting head. It is established that the first coefficient of spectral expansion in case of breakage of the cutter increases substantially, while the third one, corresponding to the triple frequency of cutting head rotation, practically remains unchanged. The diagnosed indicator proposed – the ratio of the 1st and 3rd coefficients of a spectral expansion. The criterion for diagnosing the breakage is the excess of this ratio over the ratio resulting from self-training of a machine.

**Conclusion.** The method proposed for failure diagnosis of cutters of the longitudinally rotating cutting head in real-time based on the spectral expansion of the motor current in the cutting unit. The diagnosed parameter is the ratio of the coefficients of the spectral expansion, corresponding to the frequency of crown rotation and its tripled value.

**Keywords:** heading machine, cutting unit, cutting tool, diagnosis.

**Сведения об авторах**

**О.Е. Шабаев**

SPIN-код: 1447-2343  
 ORCID iD: 0000-0002-0845-7449  
 Телефон: +380 (95) 429-13-32  
 Эл. почта: oeshabaev@yandex.ru

**И.И. Бридун**

SPIN-код: 4856-8561  
 ORCID iD: 0000-0002-3199-8518  
 Телефон: +380 (95) 335-64-68  
 Эл. почта: ss13835@yandex.ru

Статья поступила 25.12.2017 г.

© О.Е. Шабаев, И.И. Бридун, 2017

Рецензент д.т.н., проф. А.П. Кононенко

