



МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

УДК 622.6

А.С. РОМАНОВИЧ

генеральный директор¹

И.А. КОНОПЛЯНИК, канд. техн. наук

заместитель генерального директора по технической политике и инновациям¹

E-mail: kia@niva.by

¹УПП «Нива», Солигорский район, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 29.07.2019.

НАГРУЖЕННОСТЬ ПРИВОДОВ РЕЖУЩИХ ОРГАНОВ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ. ЧАСТЬ 2. МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ НАГРУЖЕННОСТИ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ПРИВОДА РЕЖУЩЕГО ОРГАНА

В статье приведены результаты исследований, которые показали, что при мониторинге нагруженности привода режущего органа комбайна, сочетающего вибродиагностику с традиционной оценкой параметров его функционирования, может быть существенно повышена его информативность и дана оценка не только состояния режущих органов, но и действительного сопротивления пласта калийных солей разрушению, что позволяет сделать выбор наиболее рациональных, с позиций обеспечения наибольшей производительности, геометрии и свойств резов, а также технически и экономически обоснованного выбора диапазона варьирования скоростью движения комбайна и прогнозирования его производительности и связанного с этим техническим состоянием режущего органа. Разработана методика комплексного мониторинга нагруженности электромеханического привода режущего органа, учитывающая влияние на параметры нагруженности технического состояния режущего органа и сопротивления резанию калийной руды, реализация которой позволяет оперативно определить причины повышения нагруженности, связанные с возрастанием сопротивления породы резанию или с поломкой резов для оперативного устранения последних.

Ключевые слова: вибрации, зубчатая передача, мониторинг, нагруженность, режимы функционирования, привод

Введение. К одним из наиболее важных особенностей и направлений совершенствования современного оборудования, в том числе горной техники, можно отнести наличие и постоянное развитие взаимосвязанных между собой систем мониторинга приводных систем [1–15]. При этом системы мониторинга, как правило, связаны с автоматизированным управлением параметрами функционирования [16–20]. Это позволяет обеспечить повышенные эффективность использования горного оборудования при добыче калийных солей и его надежность. При этом надо отметить, что для горной техники характерна высокая нагруженность основных приводов,

повышенная запыленность окружающей среды и чрезвычайно высокие требования к взрывобезопасности.

В настоящее время активно проводятся различные разработки и научные исследования [21–23], связанные с постоянно возрастающими требованиями к надежности и энергоэффективности используемого оборудования. Этому в значительной мере способствует интенсивное развитие микропроцессорной техники и компьютеризация процессов функционирования приводных систем оборудования, которые, в свою очередь, обеспечивают повышение конкурентоспособности выпускаемого с их использованием оборудования.

К основным тенденциям развития методов и средств мониторинга в области горного оборудования можно отнести:

- развитие методов и средств контроля параметров и режимов функционирования приводных систем и установление взаимосвязи изменения этих параметров с техническим состоянием и эффективностью эксплуатации оборудования [1–7];
- разработка методов и средств мониторинга по параметрам изменения нагруженности и, как следствие, электропитания приводов [8–11];
- развитие, с учетом специфики функционирования приводных систем горного оборудования, методов и средств их вибродиагностики [12];
- концептуальное развитие и обоснование эффективности методов мониторинга [13, 14];
- использование мониторинга для прогнозирования косвенно связанных с работой оборудования явлений на калийных рудниках, например газодинамических [15].

Необходимо отметить, что в современной технике к наиболее методически развитому и обеспеченному средствами регистрации и обработки данных подходу в этом направлении можно отнести вибромониторинг параметров функционирования приводных систем, однако в источниках научно-технической информации о горной технике он представлен существенно уже, чем остальные методы мониторинга. Достаточно широко применяются методы контроля параметров электропитания, что обусловлено возможностью их использования для автоматизированного управления скоростными режимами работы оборудования с целью поддержания номинальной мощности привода режущего органа. При этом в традиционных системах контроля определяется средняя величина тока питания электропривода режущего органа, который зависит от изменения усилия резания, и его величина лишь косвенно свидетельствует о нагруженности механической трансмиссии. Следует отметить, что у очистных комбайнов типа Eickhoff SL 300 есть два режущих органа и два механизма подачи, а его скорость по результатам мониторинга регламентируется более нагруженным режущим органом без его фиксирования и причины возрастания нагруженности, которая может возрасти из-за увеличения сопротивления породы резанию, износа или поломки отдельных резцов. Это ограничивает возможности оперативной замены поломанных резцов для увеличения продолжительности работы комбайна в штатном режиме с повышенной производительностью, поскольку поломки резцов способствуют нарушению нормального режима функционирования комбайна и, как следствие, обуславливают снижение его производительности.

В работе [23] показана практически линейная зависимость между амплитудой вибрации с зубчатой частотой и нагруженностью зубчатых колес

привода режущего органа при относительно небольших окружных скоростях вращения, что может быть эффективно использовано при решении приведенной выше проблемы.

Целью исследований является разработка методики комплексного мониторинга параметров нагруженности зубчатой передачи и привода режущего органа в целом для оперативного определения причин повышения нагруженности из-за возрастания сопротивления породы резанию, износом или поломкой резцов для оперативного устранения последних.

Методика исследований. Основной задачей исследований являлась оценка влияния поломки резцов на нагруженность зубчатой передачи и привода режущего органа в целом и на основе этого разработка комплексной методики мониторинга параметров функционирования комбайна.

В работе [24] показано, что при равномерном износе резцов изменение нагруженности режущего органа и связанного с ним привода зависит от коэффициента k_R , для определения которого может быть использовано выражение

$$k_R = \frac{2\bar{N}_0\eta}{k_F n R^2 \cdot V_0 (V/V_0)^2 k_n^2 \sin(0,5\varphi)} = \frac{k_N}{k_F (V/V_0)^2}, \quad (1)$$

где k_R — отношение усилия резания частично изношенным резцом к усилию резания новым резцом, $k_R \geq 1$; \bar{N}_0 — средняя величина мощности, Вт; η — КПД зубчатого редуктора привода режущего органа; k_F — эмпирический условный показатель, характеризующий сопротивляемость калийной руды резанию, представляющий собой коэффициент пропорциональности между площадью срезаемого слоя и усилием резания, зависящий от сопротивления резанию срезаемого материала, состояния резца, его геометрии и т. п., Н/м²; n — число резцов на режущем органе; R — радиус, на котором расположена на режущем органе кромка резца, м; V_0 — окружная скорость движения кромки резца (в комбайне Eickhoff SL 300 она постоянна), м/с; V — скорость движения комбайна, м/с;

$$k_n = \sum_{i=1}^{n/2} \left[\left(\frac{t}{T_0} + 2 \frac{i-1}{n} \right) \sin \left(\pi \frac{t}{T_0} + 2 \frac{i-1}{n} \right) \right]; \quad \varphi — \text{угол при}$$

$$\text{вершине резца, град; } k_N = \frac{2\bar{N}_0}{n R^2 \cdot V_0 k_n^2 \sin(0,5\varphi)} = \text{const,}$$

Н/м²; T_0 — период взаимодействия резца с породой, с.

С учетом того, что для полнокомплектного режущего органа рассеивание средней величины номинальной мощности при резании не превышает 1 %, количественное значение коэффициента k_n может быть определено из зависимости [24]:

$$k_n = \sum_{i=1}^{n/2} \sum_{t/T_0=0}^{1/T_0=2(i-1)/n} \left[\left(\frac{t}{T_0} + 2 \frac{i-1}{n} \right) \sin \left(\pi \frac{t}{T_0} + 2 \frac{i-1}{n} \right) \right]. \quad (2)$$

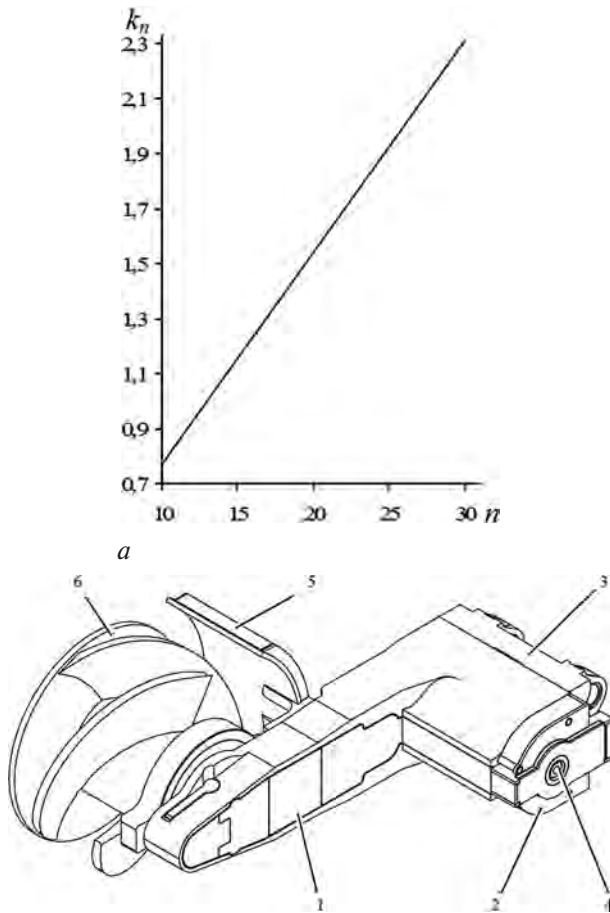


Рисунок 1 — График зависимости k_n от n (a) и схема узла резания (b): 1 — поворотный редуктор; 2 — двигатель привода режущего органа; 3 — держатель поворотного редуктора; 4 — муфта включения со срезным валом; 5 — погрузочный щиток; 6 — режущий шнек с резцами
Figure 1 — Graph of dependence of k_n on n (a) and scheme of the cutting joint (b): 1 — slewing gear; 2 — engine of cutting unit drive; 3 — holder of the slewing gear; 4 — shift clutch with shear shaft; 5 — cowl; 6 — cutting auger with cutters

Компьютеризированный анализ этой зависимости показал, что величина k_n для $n = 10-30$ практически линейно зависит от n (рисунок 1 a) и для узла резания (см. рисунок 1 b) может быть представлена в виде

$$k_n = 0,077n. \quad (3)$$

С учетом (3) для очистного комбайна Eickhoff SL 300:

$$k_N = 337 \frac{\bar{N}_0 \eta}{n^2 \cdot R^2 \cdot V_0 \sin(0,5\varphi)} = 3 \cdot 10^5, \text{ Н/м}^2. \quad (4)$$

Поскольку для новых резцов $k_R = 1$, то эмпирический условный показатель сопротивляемости калийной руды резанию k_F равен

$$k_F = \frac{k_N}{(V/V_0)^2} = 3 \cdot 10^5 \left(\frac{V_0}{V_{\max}} \right)^2, \text{ Н/м}^2, \quad (5)$$

где V_{\max} — максимальная скорость движения очистного комбайна Eickhoff SL 300 в конкретных условиях сопротивляемости резанию калийных солей.

Необходимо отметить, что в рассматриваемом случае эмпирический условный показатель сопротивляемости калийной руды резанию k_F совокупно учитывает весь комплекс факторов, связанный со взаимодействием рабочего органа с калийной рудой при ее резании. Он отличается от традиционного коэффициента A_p (кН/м) сопротивляемости резанию калийной руды и размерностью.

Результаты исследований и их обсуждение. Величина коэффициента k_F характеризует сопротивление пласта калийных солей разрушению. Поэтому зависимость (5) может быть эффективно использована для качественной и количественной оценки изменения сопротивления пласта калийных солей резанию для выбора наиболее рациональных, с позиций обеспечения наибольшей производительности, геометрии и режущих свойств резцов, а также для технически и экономически обоснованного выбора диапазона варьирования скоростью движения комбайна, мониторинга и прогнозирования его производительности и связанного с этим технического состояния режущего органа.

Зависимость k_F от максимальной скорости движения комбайна при $V_0 = \text{const}$ приведена на рисунке 2.

Анализ рисунка 2 и зависимости (5) показывает следующее. Скорость движения комбайна и сопротивление его движению при резании калийной руды связаны между собой нелинейно (см. рисунок 2 a), однако, в реальном диапазоне скоростей движения очистного комбайна Eickhoff SL 300 эта зависимость с коэффициентом среднеквадратического рассеивания $3,4 \cdot 10^7$ и коэффициентом вариации $\sim 0,6\%$ может быть принята линейной (см. рисунок 2 b) и представлена в виде:

$$k_F = K_F [1 - 92(V_{\max}/V_0)], \quad (6)$$

где $K_F = 17,2 \cdot 10^9$.

Выражение (6) может быть использовано для технически обоснованной оценки:

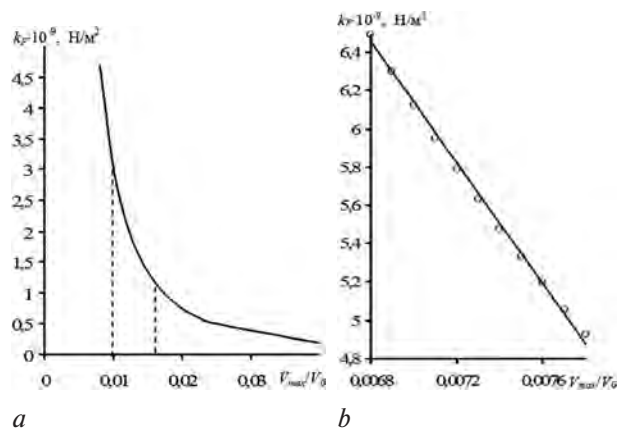


Рисунок 2 — Зависимость коэффициента k_F от максимальной скорости движения комбайна (a) и в диапазоне реальных скоростей движения комбайнов ОАО «Беларуськалий» (b)
Figure 2 — Dependence of k_F coefficient on the maximum speed of the combine (a) and in the range of real speeds of the combines of JSC Belaruskali (b)

- качества изготовления резцов и их режущих свойств при установке новых резцов в режущий орган;
 - изменения свойств калийной породы из-за изменения ее состава, прочностных свойств породы и т. п., а также для объективного прогнозирования стойкости резцов и производительности процесса добычи калийной руды.

Изменение нагруженности режущего органа в окружном направлении при отсутствии разрушений резцов и разрушении одного резца показано на рисунке 3.

Анализ рисунка 3 показывает следующее. Поломка одного из резцов в процессе его взаимодействия с более твердым, по сравнению с калийной рудой, включением в породу обуславливает то, что следующий за ним резец снимает повышенный объем добываемого материала. При этом средняя величина нагруженности режущего органа остается практически такой же, как до поломки резца. Однако осциллограмма нагружения режущего органа существенно меняется. Ее анализ (см. рисунок 3) показывает, что размах колебаний нагруженности Q возрастает ориентировочно в 5 раз, т. е. до 28 % от средней величины нагруженности. Одновременно с этим среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации увеличиваются более чем в 5 раз. Это вполне может быть использовано при мониторинге, например, с использованием параметров генерируемой зубчатых колесами вибрации в качестве диагностического признака, свидетельствующего о поломке резца. При этом необходимо отметить, что между режущим органом и электродвигателем, как это видно из показанной на рисунке 4 кинематической схемы привода режущего органа Eickhoff SL 300, находится достаточно «длинная» кинематическая цепь, параметры которой приведены в таблице. Вследствие инерционно-жесткостных свойств этой системы может возникнуть своеобразный механический фильтр, не позволяющий выделить в параметрах электропитания привода «скачки» нагруженности, обусловленные поломкой резца. Поэтому целесообразно использование вибромониторинга зубчатой трансмиссии привода. При

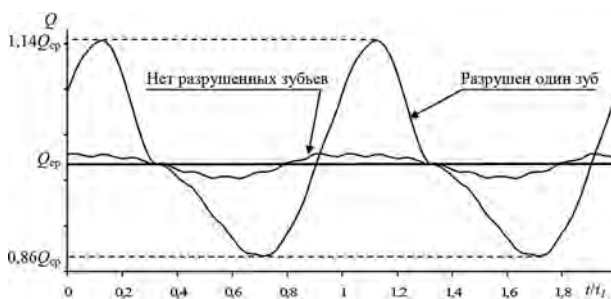


Рисунок 3 — Влияние разрушения одного из зубьев режущего органа на характер варьирования нагруженности режущего органа

Figure 3 — Effect of destruction of one of the teeth of cutting unit on the nature of variation of the loading of the cutting unit

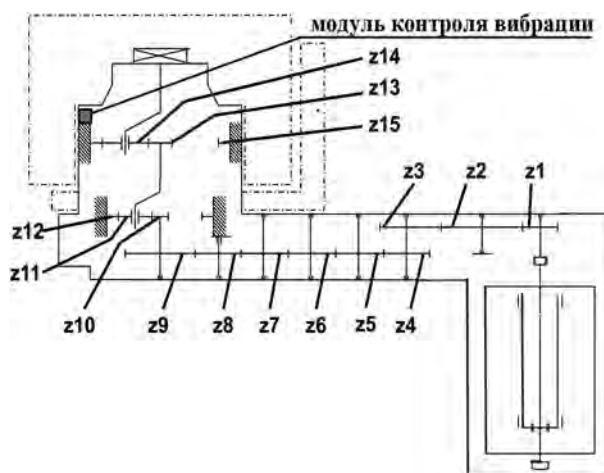


Рисунок 4 — Кинематическая схема привода режущего органа очистного комбайна Eickhoff SL 300
 Figure 4 — Kinematic scheme of the cutting unit drive of the shearer Eickhoff SL 300

Таблица — Параметры поворотного редуктора [25]
 Table — Parameters of the slewing gear [25]

Шестерня	Число зубьев	Модуль, мм	Число оборотов, мин ⁻¹
III	z_1	21	1480
	z_2	31	1003
	z_3	26	1195
II	z_4	16	617
	z_5	31	638
	z_6	30	617
	z_7	31	638
	z_8	30	738
	z_9	26	736
I	z_{10}	37	736
	z_{11}	28	700
	z_{12}	-95	0
	z_{13}	23	206
	z_{14}	24	150
	z_{15}	-73	0
Число оборотов режущего органа			49,4

этом важное значение имеет место установки модуля контроля вибрации.

Анализ кинематической схемы привода режущего органа очистного комбайна Eickhoff SL 300 (см. рисунок 4) показывает, что наиболее рациональным, с позиций максимально близкого расположения к источнику возникновения колебаний нагруженности, местом установки модуля контроля вибрации является торцевая поверхность обода солнечного колеса с внутренним зубом z_{15} .

Таким образом, методика комплексного мониторинга параметров нагруженности зубчатой передачи и привода режущего органа в целом для оперативного определения причин повышения

нагруженности из-за возрастания сопротивления породы резанию или поломки резцов для оперативного устранения последних, схема реализации которой показана на рисунке 5, включает следующее:

- после установки нового режущего органа и его полного врезания в калийную руду в автоматизированном режиме осуществляется регистрация в течение 12...15 секунд:

а) максимальной скорости V_{\max} движения комбайна при номинальной мощности электропривода (V_{\max} у очистного комбайна Eickhoff SL 300 обеспечивается в автоматическом режиме);

б) колебаний обода шестерни z_{15} (регистрация с частотой дискретизации более 50 Гц с использованием прецизионного двухкоординатного устройства для контроля механических колебаний);

- автоматизированная обработка данных, включающая определение средней величины обрабатываемых параметров, их среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации, включая:

а) начальную (максимальную) скорость движения комбайна \bar{V}_{\max_0} (м/мин), ее среднеквадратическое

отклонение $S_{V_{\max_0}}$ (м/мин) и коэффициент вариации $v_{V_{\max_0}}$ (%):

$$\bar{V}_{\max_0} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} V_{i_0}}{n}; S_{V_{\max_0}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (V_{i_0} - \bar{V}_{\max_0})^2}{n-1}}; \quad (7)$$

$$v_{V_{\max_0}} = 100 \frac{S_{V_{\max_0}}}{\bar{V}_{\max_0}},$$

где n — число зарегистрированных значений статистически обрабатываемого параметра;

б) мощность электродвигателя \bar{N}_0 , ее среднеквадратическое отклонение S_{N_0} и коэффициент вариации v_{N_0} :

$$\bar{N}_0 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} N_i}{n}; S_{N_0} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (N_i - \bar{N}_0)^2}{n-1}}; v_{N_0} = 100 \frac{S_{N_0}}{\bar{N}_0}; \quad (8)$$

в) амплитуду A_{f_0} колебаний с зубцовой частотой в амплитудном спектре, полученных при обработке данных о колебаниях БПФ;

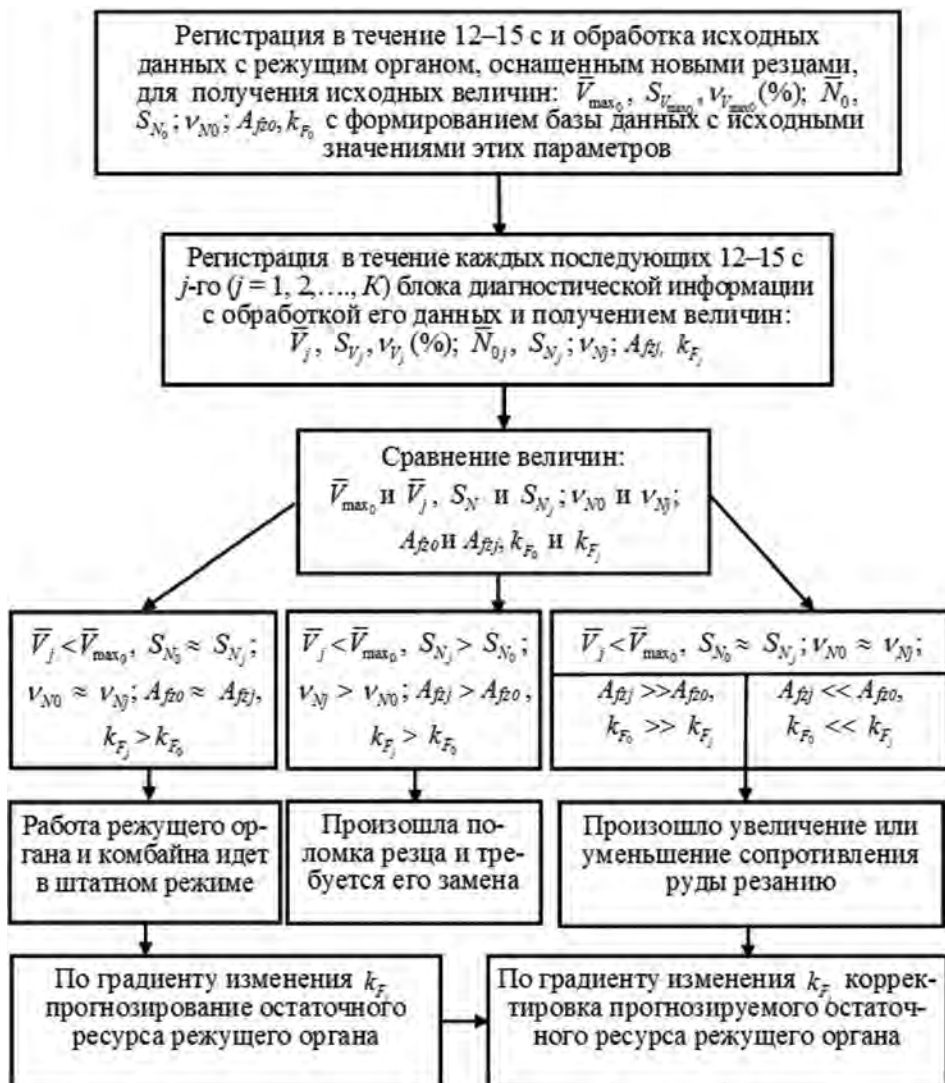


Рисунок 5 — Схема мониторинга параметров функционирования привода режущего органа
 Figure 5 — Scheme of monitoring of parameters of functioning of the cutting unit drive

г) величину исходного условного показателя сопротивляемости калийной руды резанию k_{F_0} :

$$k_{F_0} = 3 \cdot 10^5 \left(\frac{V_0}{\bar{V}_{\max_0}} \right)^2, \text{ Н/м}^2; \quad (9)$$

- каждые последующие 12...15 секунд в автоматизированном режиме осуществляется регистрация приведенных выше j -х параметров с определением величин $\bar{V}_j, S_{V_j}, v_{V_j} (\%)$; $\bar{N}_{0j}, S_{N_j}, v_{N_j}$; $A_{F_{2j}}, k_{F_j}$ и сравнением \bar{V}_{\max_0} и \bar{V}_j, S_N и S_{N_j} ; v_{N_0} и v_{N_j} ; $A_{F_{20}}$ и $A_{F_{2j}}, k_{F_0}$ и k_{F_j} , после чего в соответствии с рисунком 5 принимается решение о необходимости замены резца и проведении расчета прогнозируемого экономически целесообразного остаточного ресурса режущего органа.

Заключение. Разработана методика комплексного мониторинга нагруженности электромеханического привода режущего органа, учитывающая влияние на параметры его нагруженности технического состояния резцов и сопротивления резанию калийной руды. Реализация этой методики позволяет оперативно и дифференцированно определить причины повышения нагруженности, которые могут быть связаны с возрастанием сопротивления породы резанию, износом или поломкой резцов.

Список литературы

1. Габов, В.В. Прибор контроля режимов работы горных машин ИНМ-1 / В.В. Габов, Н.М. Третьяков, Ю.А. Модестов // Механизация горных работ на угольных шахтах: сб. науч. тр. — Тула: Изд-во ТПИ, 1984. — С. 59–63.
2. Трифанов, М.Г. Контроль параметров работы и оценка технического состояния приводов проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» / М.Г. Трифанов // Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении: сб. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. Т II; Санкт-Петербург, 16–17 апреля 2014. — СПб., 2014. — С. 82–85.
3. Трифанов, М.Г. Средства объективного контроля, как инструмент повышения эффективности эксплуатации проходческо-очистных комбайнов калийных рудников / М.Г. Трифанов, Д.И. Шишлянников // Инновации на транспорте и в машиностроении: сб. тр. III Междунар. науч.-практ. конф. Т I; Санкт-Петербург, 14–15 апреля 2015. — СПб., 2015. — С. 106–108.
4. Методы оценки технического состояния и ресурса механических трансмиссий проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р» / Н.В. Чекмасов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 4. — С. 272–278.
5. Stax, R. Salzohne Grenzen: Die chilenische SPL globalisiert den Geschäftsbereich Salts der K+S Gruppe / R. Stax, M. Koopmann // Kali und Steinsalz. — 2009. — Heft 1. — Pp. 22–31.
6. Substantiation of the rational method to control the operating and technical-condition parameters of a heading-and-winning machine for potash mines / D.I. Shishlyannikov [et al.] // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. — 2015. — Т. 4, No. 3. — Pp. 283–287.
7. Повышение эффективности эксплуатации проходческо-очистных комбайнов калийных рудников на основе анализа записей регистраторов параметров / Д.И. Шишлянников [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. — 2015. — № 4(113). — С. 3–10.

8. Методика диагностирования механизмов с электроприводом по потребляемому току / А.В. Барков [и др.]. — СПб.: Севзапучцентр, 2012. — 68 с.
9. Чекмасов, Н.В. Методика проведения измерений режимов работы двигателей комбайнов / сост. Н.В. Чекмасов, М.Г. Трифанов; ООО «РКЦ». — Пермь, 2001. — 12 с.
10. Пилотная диагностика состояния трансмиссий горных машин по параметрам питания электропривода. Проблемы горно-транспортных систем и электромеханики / С.Л. Иванов [и др.] // Записки Горного института. — Т. 178. — СПб., 2008. — С. 159–161.
11. Трифанов, М.Г. Оценка нагруженности приводов проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» для выбора технически обоснованных режимов работы в реальных условиях эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук / М.Г. Трифанов. — Пермь, 2018 — 164 с.
12. Сальников, А.Ф. Виброакустическая диагностика технических объектов / А.Ф. Сальников. — Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. — 247 с.
13. Гепотанов, В.Н. Выбор длительности хронометражных наблюдений при исследованиях надежности забойного оборудования / В.Н. Гепотанов, Ю.Н. Алешин // Известия вузов. Горный журнал. — 1972. — Вып. 7. — С. 31–35.
14. Сумканов, А.И. Разработка методики оценки состояния оборудования очистных комплексов горных предприятий / А.И. Сумканов, В.В. Зотов, С.С. Кубрин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 10. — С. 260–264.
15. Шишлянников, Д.И. Использование регистраторов параметров работы проходческо-очистных комбайнов при прогнозировании газодинамических явлений на калийных рудниках / Д.И. Шишлянников // Изв. Урал. гос. горного ун-та. — 2016. — № 1(41). — С. 106–111.
16. Способ автоматического управления скоростью подачи угольных комбайнов и устройство для его осуществления: пат. RU 2066757 / Я.П. Гринберг, В.С. Соловьев. — № 93025794/03. — Заявл. 28.04.1993. — Опубл. 20.09.1996. — Бюл. № 8.
17. Способ автоматического регулирования нагрузки привода резания угольных комбайнов: пат. RU 2170820 / Я.П. Гринберг, В.С. Соловьев, В.В. Рудаков. № 99121117/03. — Заявл. 06.10.1999. — Опубл. 20.07.2001. — Бюл. № 9.
18. Способ управления горным комбайном с планетарно-дисковым исполнительным органом: пат. RU 2618630 / Н.В. Чекмасов, Д.И. Шишлянников, М.Г. Трифанов, А.С. Асонов. — № 2016110648. — Заявл. 22.03.2016. — Опубл. 05.05.2017. — Бюл. № 13.
19. Сажин, Р.А. Автоматизация технологических процессов горного производства: учеб. пособие / Р.А. Сажин. — Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009. — 198 с.
20. Старков, Л.И. Развитие механизированной разработки калийных руд / Л.И. Старков, А.Н. Земсков, П.И. Кондрашев. — Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007. — 522 с.
21. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика: ГОСТ 12.44.258-84 / Мин-во угольного машиностроения. — М., 1986. — 108 с.
22. Семенов, В.В. Обоснование и выбор параметров исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов нового поколения для добычи калийных руд: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.06. / В.В. Семенов. — Тула, 2011. — 219 с.
23. Старовойтов, Ю.В. Повышение надежности и эффективности использования высоконагруженного оборудования очистных комплексов на калийных рудниках: дис. ... д-ра техн. наук / Ю.В. Старовойтов. — Солигорск, 2014. — 288 с.
24. Романович, А.С. Нагруженность приводов режущих органов горного оборудования. Часть 1. Методические подходы к мониторингу технического состояния режущего органа очистного комбайна по параметрам нагруженности его привода / А.С. Романович, И.А. Конопляник // Механика машин, механизмов и материалов. — 2019. — № 2(47). — С. 20–28.
25. Комбайн проходческо-очистной «УНИВЕРСАЛ-600». Руководство по эксплуатации ЛМКА 01.03.00.00.000 РЭ/ОАО «ЛМЗ Универсал». — 111 с.

ROMANOVICH Alexander S.

Director General¹

KANAPLIANIK Ivan A., Ph. D. in Eng.

Deputy Director General for Technical Policy and Innovations¹

E-mail: kia@niva.by

¹UPE “Niva”, Soligorsk District, Republic of Belarus

Received 29 July 2019.

LOAD OF CUTTING UNITS DRIVES OF MINING EQUIPMENT. PART 2. TECHNIQUE OF COMPLEX MONITORING OF LOADING PARAMETERS OF THE DRIVE GEAR OF THE CUTTING UNIT

The article presents the results of studies that showed that when monitoring the loading of the drive of the cutting body of a combine that combines vibrodiagnostics with the traditional assessment of the parameters of its functioning, its information content can be significantly increased, and the assessment of not only the state of the cutting bodies, but the actual resistance of the potash salt layer to destruction, which allows for the selection of the most rational, in terms of ensuring the highest performance, geometry and properties of the cutters, as well as a technically and economically reasonable choice of the range of variation of the speed of the combine and forecasting its performance and the cutting body associated with this technical condition. A comprehensive monitoring methodology has been developed for the electromechanical actuator of the cutting body, taking into account the influence on the loading parameters of the cutting condition of the cutting organ and the resistance of potash ore to cutting, the implementation of which makes it possible to quickly determine the causes of increased load related to either an increase in resistance of solid to cutting or breakage of the cutters for the rapid elimination of the latter.

Keywords: vibrations, gear, monitoring, loading, modes of operation, drive

References

- Gabov V.V., Tretyakov N.M., Modestov Yu.A. Pribor kontrolya rezhimov raboty gornyykh mashin INM-1 [The control device modes of operation of mining machinery INM-1]. *Mekhanizatsiya gornyykh rabot na ugolnykh shakhtakh* [Mechanization of mining operations in coal mines], 1984, pp. 59–63.
- Trifanov M.G. Kontrol parametrov raboty i otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya privodov prokhodchesko-ochistnykh kombaynov “Ural-20R” [Control of operation parameters and assessment of technical condition of drives of Ural-20R heading-and-winning machines]. *Sbornik trudov 2 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Innovatsionnye sistemy planirovaniya i upravleniya na transporte i v mashinostroenii”* [Proc. 2nd International scientific and practical conference “Innovative planning and management systems in transport and engineering”]. Saint Petersburg, 2014, vol. 2., pp. 82–85.
- Trifanov M.G., Shishlyannikov D.I. Sredstva obektivnogo kontrolya, kak instrument povysheniya effektivnosti ekspluatatsii prokhodchesko-ochistnykh kombaynov kaliynykh rudnikov [Means of objective control as a tool to improve the efficiency of operation of heading-and-winning machines for potash mines]. *Sbornik trudov 3 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Innovatsii na transporte i v mashinostroenii”* [Proc. 3rd International scientific and practical conference “Innovations in transport and engineering”]. Saint Petersburg, 2015, vol. 1, pp. 106–108.
- Chekmasov N.V., Trifanov M.G., Shishlyannikov D.I., Ivanov S.L. Metody otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya i resursa mekhanicheskikh transmissiy prokhodchesko-ochistnogo kombayna “Ural-20R” [Methods for assessing the technical state of the resource and mechanical transmissions heading shearer “Ural-20R”]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining informational and analytical bulletin], 2014, no. 4, pp. 272–278.
- Stax R., Koopmann M. Salzohne Grenzen: Die chilenische SPL globalisiert den Geschäftsbereich Salts der K+S Gruppe. *Kali und Steinsalz*, 2009, no. 1, pp. 22–31.
- Shishlyannikov D.I., Chekmasov N.V., Trifanov M.G., Ivanov S.L., Zvonarev I.E. Substantiation of the rational method to control the operating and technical-condition parameters of a heading-and-winning machine for potash mines. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2015, vol. 44, no. 3, pp. 283–287.
- Shishlyannikov D.I., Chekmasov N.V., Gabov V.V., Ivanov S.L., Asonov S.A. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii prokhodchesko-ochistnykh kombaynov kaliynykh rudnikov na osnove analiza zapisey regulatorov parametrov [Improving the efficiency of combines potash mines in the analysis of records]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* [Mining Equipment and Electromechanics], 2015, no. 4(113), pp. 3–10.
- Barkov A.V., Barkova N.A., Borisov A.A., Fedorishchev V.V., Grishchenko D.V. *Metodika diagnostirovaniya mekhanizmov s elektroprivodom po potrebyaemому toku* [Method of diagnosing mechanisms with electric drive on the consumed current]. Saint Petersburg, NOU “Sevzapuchtsentr”, 2012. 68 p.
- Chekmasov N.V., Trifanov M.G. *Metodika provedeniya izmereniy rezhimov raboty dvigateley kombaynov* [Methods of measuring the operating modes of combine engines]. Perm, OOO “RKTs” Publ., 2001. 12 p.
- Poddubnaya A.A., Fokin A.S., Ivanov S.L., Ivanov A.S., Semenov M.A. Pilotnaya diagnostika sostoyaniya transmissiy gornyykh mashin po parametram pitaniya elektroprivoda [Preliminary diagnostics of the state of transmissions of mining machines according to the parameters of power supply of the electric drive]. *Zapiski Gornogo instituta* [Notes of Mining Institute], 2008, vol. 178, pp. 159–161.
- Trifanov M.G. *Otsenka nagruzhennosti privodov prokhodchesko-ochistnykh kombaynov “Ural-20R” dlya vybora tekhnicheskii obosnovannykh rezhimov raboty v realnykh usloviyakh ekspluatatsii*. Diss. kand. tekhn. nauk [Evaluation of load of drives of heading-and-winning machines “Ural-20R” to select technically justified modes in actual operating conditions. Ph. D. Thesis]. Perm, 2018. 164 p.
- Salnikov A.F. *Vibroakusticheskaya diagnostika tekhnicheskikh obektov* [Vibroacoustic diagnostics of technical objects]. Perm,

- Permskiy natsionalnyy issledovatel'skiy politekhnicheskiy institut Publ., 2011. 247 p.
13. Gepotanov V.N., Aleshin Yu.N. Vybór dlitel'nosti khronometrazhnykh nablyudeniy pri issledovaniyakh nadezhnosti zaboynogo oborudovaniya [The choice of duration of time observations at researches of reliability of the bottom-hole equipment]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the higher institutions. Mining Journal], 1972, iss. 7, pp. 31–35.
 14. Sumkanov A.I., Zotov V.V., Kubrin S.S. Razrabotka metodiki otsenki sostoyaniya oborudovaniya ochistnykh kompleksov gornykh predpriyatiy [Development of methods for assessing the condition of equipment of treatment complexes of mining enterprises]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining informational and analytical bulletin], 2012, no. 10, pp. 260–264.
 15. Shishlyannikov D.I. Ispol'zovanie registratorov parametrov raboty prokhodchesko-ochistnykh kombaynov pri prognozirovanií gazodinamicheskikh yavleniy na kaliynnykh rudnikakh [Usage of recorders of work settings of tunneling-clearing combines at forecasting of gas-dynamic phenomena on potash mines]. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], 2016, no. 1(41), pp. 106–111.
 16. Grinberg Ya.P., Solovev V.S. *Sposob avtomaticheskogo upravleniya skorostyu podachi ugolnykh kombaynov i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [A method of automatic control of the feed rate of coal combines and a device for its implementation]. Patent RF, no. 2066757, 1996.
 17. Grinberg Ya.P., Solovev V.S., Rudakov V.V. *Sposob avtomaticheskogo regulirovaniya nagruzki privoda rezaniya ugolnykh kombaynov* [Method of automatic load control of coal harvester cutting drive]. Patent RF, no. 2170820, 2001.
 18. Chekmasov N.V., Shishlyannikov D.I., Trifanov M.G., Asonov A.S. *Sposob upravleniya gornym kombaynom s planetarnodiskovym ispolnitelnym organom* [A method of controlling a mining combine with a planetary-disk actuator]. Patent RF, no. 2618630, 2017.
 19. Sazhin R.A. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov gornogo proizvodstva* [Automation of technological processes of mining production]. Perm, Permskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet Publ., 2009. 198 p.
 20. Starkov L.I., Zemskov A.N., Kondrashev P.I. *Razvitiye mekhanizirovannoy razrabotki kaliynnykh rud* [Development of mechanized development of potash ores]. Perm, Permskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet Publ., 2007. 522 p.
 21. State Standard 12.44.258-84. *Kombayny ochistnye. Vybór parametrov i raschet sil rezaniya i podachi na ispolnitelnykh organakh. Metodika* [Shearers. Selection of parameters and calculation of cutting and feeding forces on actuators. Method]. Moscow, Ministerstvo ugol'nogo mashinostroeniya Publ., 1986. 108 p.
 22. Semenov V.V. *Obosnovanie i vybór parametrov ispolnitelnykh organov prokhodchesko-ochistnykh kombaynov novogo pokoleniya dlya dobychi kaliynnykh rud*. Diss. kand. tekhn. nauk [Justification and choice of parameters of actuators of new generation heading-and-winning machines for potash ore mining. Ph. D. Thesis]. Tula, 2011. 219 p.
 23. Starovoytov Yu.V. *Povyshenie nadezhnosti i effektivnosti ispol'zovaniya vysokonagruzhennogo oborudovaniya ochistnykh kompleksov na kaliynnykh rudnikakh*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Improving the reliability and efficiency of the use of high-loaded equipment of treatment facilities at potash mines. D. Sc. Thesis]. Soligorsk, 2014. 288 p.
 24. Romanovich A.S., Kanaplianik I.A. *Nagruzhennost privodov rezhushchikh organov gornogo oborudovaniya. Chast 1. Metodicheskie podkhody k monitoringu tekhnicheskogo sostoyaniya rezhushchego organa ochistnogo kombayna po parametram nagruzhennosti ego privoda* [Load of cutting units drives of mining equipment. Part 1. Methodological approaches to monitoring of technical condition of shearer cutting unit by parameters of its drive load]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and materials], 2019, no. 2(47), pp. 20–28.
 25. *Kombayn prokhodchesko-ochistnoy "UNIVERSAL-600". RUKOVODSTVO PO EKSPLUATATSII* [Heading-and-winning machine "UNIVERSAL-600". MAINTENANCE MANUAL]. Soligorsk, OAO "LMZ Universal" Publ. 111 p.