

УДК 622.232.83

**Н.В. Чекмасов, М.Г. Трифанов, Д.И. Шишлянников,  
С.Л. Иванов**

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
И РЕСУРСА МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ  
ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА «УРАЛ-20Р»**

Приведены результаты экспериментальных исследований величины и характера нагрузок приводов исполнительных органов проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р». Доказана перспективность и универсальность энергетического подхода к определению остаточного ресурса механических трансмиссий добычных машин. Обоснованы основные положения методики оценки технического состояния механических трансмиссий проходческо-очистных комбайнов по изменению токов и мощностей, потребляемых двигателями выемочных машин.

*Ключевые слова:* механическая трансмиссия, нагрузки, ресурс, диагностика, проходческо-очистной комбайн.

---

**Д**ля предприятий, осуществляющих добычу калийной руды подземным способом, актуальной является задача увеличения надежности добычных машин, снижения затрат на их эксплуатацию, увеличения коэффициента машинного времени оборудования очистных забоев. Недостаточная точность оценки ресурса деталей и узлов трансмиссии комбайнов, сложность и высокая трудоемкость диагностики приводит к увеличению количества простоев добычных машин вследствие внезапных отказов и росту материальных затрат на поддержание их работоспособности. Решение данной задачи возможно на основе разработки и широкого использования средств и методик оценки технического состояния горного выемочного оборудования.

В настоящее время на калийных рудниках России наибольшее распространение получили проходческо-очистные комбайны типа «Урал» производства ОАО «КМЗ». Эффективная эксплуатация этих машин, обеспече-

ние наиболее полного использования их ресурса возможны посредством строгого соблюдения режимных параметров работы и использования приборного контроля состояния узлов и механизмов комбайна.

Прогнозирование индивидуально-го ресурса деталей добычных машин включает комплекс задач: оценку текущего состояния объекта, прогнозирование развития этого состояния на ближайшее будущее и определение остаточного ресурса. В настоящее время основными методами оценки технического состояния элементов механической трансмиссии проходческо-очистных комбайнов являются контроль шума и вибрации, температуры нагрева и состава масла, температурный мониторинг подшипниковых узлов, оценка мощности на входе и выходе механической системы.

Наибольшее развитие получили методы вибрационного мониторинга с отработанной структурой средств измерения и анализа вибрации. Важнейшим преимуществом современных

систем вибродиагностики является включение в их состав пакета программ, обеспечивающего автоматическую обработку сигнала и получение диагноза с высокой точностью и достоверностью. Основное внимание в этих системах уделяется анализу сигнала высокочастотной вибрации, которая, в отличие от низкочастотной, появляется еще в начальной стадии развития дефектов.

Применение акустических и вибрационных методов для диагностики проходческо-очистных комбайнов возможно только для уточнения неисправного состояния отдельного элемента по его вибрационным сигналам. Опыт ведущих отечественных и зарубежных горнодобывающих предприятий показывает, что метод достаточно трудоемок и требует специальных стендов. Он эффективно используется для установок, имеющих одну доминирующую частоту внутреннего возмущения (турбина), когда внешняя нагрузка почти не влияет на трансформацию виброакустического сигнала или детерминировано изменяет его на постоянную величину [4].

Термодинамические методы оценки технического состояния комбайна малоэффективны вследствие неоднородности среды (корпус, валы, подшипники, зубчатые колеса, электродвигатель и т.д.) и высокой инерционности. Местные перегревы нивелируются в общем поле температур редукторов. Сама же средняя температура трансмиссии является результирующей двух тепловых потоков: деградиационного, связанного с диссипацией энергии в элементах трансмиссии (своеобразного источника нагрева), и теплового потока от корпуса редуктора в окружающую среду (эффективности охлаждения системы), во многом зависящего от параметров этой среды, наличия загрязнений внешней поверхности редуктора.

Способ определения технического состояния трансмиссии по наличию в масле механических примесей также инерционен. Процесс износа элементов в зубчатых передачах редуктора различен по интенсивности. Крайне затруднено выявление местных дефектов трансмиссии, вызванных критическим превышением уровня нагрузок. Изменение количества механических примесей в масле происходит после возникновения дефектов, характер которых может привести к аварийному отказу. Для забора проб масла необходима остановка добычной машины [2].

Помимо заключения о возможности дальнейшей эксплуатации очистного комбайна или необходимости постановки его в ремонт, целью диагностических мероприятий является также определение характера дегградации контролируемых параметров и остаточного ресурса обследуемого узла. Вышеописанные методики контроля технического состояния добычных машин не позволяют выполнить оценку остаточного ресурса деталей трансмиссии добычных машин с постоянно изменяющимся режимом работы и внешним динамическим воздействием.

Сложный характер взаимодействия элементов и узлов между собой и с внешней средой, трудность или невозможность получения достаточной информации о показателях надежности отдельных элементов, деталей и узлов определяет поиск решений, которые естественным образом включают описания физических процессов взаимодействия объектов с внешней средой, переход системы в неработоспособное состояние, как физический процесс. При этом описание поведения объекта с точки зрения его работоспособности становится органически связанным с описанием процесса функционирования

системы. На сегодняшний день наиболее перспективным методом оценки технического состояния и ресурса элементов трансмиссии добычных машин является анализ величины и характера внешних нагрузок, определяемых посредством замеров мощности на входе и выходе механической системы [3].

Известно, что постепенные и внезапные отказы оборудования, вызванные изнашиванием, поломками и деформацией деталей, можно описать с единой энергетической точки зрения. Исследования усталостного разрушения металлов показывают, что объем материала детали разрушается при достижении критического значения внутренней энергии. Следовательно, каждый элемент трансмиссии добычного комбайна имеет свой энергоресурс, определяемый предельным количеством энергии  $K_k$ , которую могут рассеять элементы привода комбайна до поломки наиболее слабого элемента при отсутствии сверхнормативных нагрузок. Его значение имеет постоянную величину для каждой машины и рассчитывается по формуле

$$K_k = T_p \Delta P, \quad (1)$$

где  $T_p$  – ресурс привода комбайна, ч.;  $\Delta P$  – мощность потерь энергии в приводе, кВт.

Величина мощности потерь энергии в приводе при нагрузках, не превышающих номинальные, может быть определена по формуле

$$\Delta P = P_x + aP_2, \quad (2)$$

где  $P_x$  – потери холостого хода, кВт;  $a$  – коэффициент, характеризующий интенсивность роста потерь в приводе;  $P_2$  – полезная мощность привода комбайна на исполнительном органе, кВт.

Интенсивность роста потерь мощности в приводе комбайна складывается из статической и динамической составляющих

$$a = a_c + a_d = a_c + K_A \sigma_x = a_c + K_A K_V V_{\Gamma}^c, \quad (3)$$

где  $a_c$  – интенсивность потерь мощности в приводе при статической нагрузке;  $a_d$  – интенсивность потерь мощности в приводе при динамической нагрузке;  $K_A$  – интенсивность роста потерь мощности на единицу динамической составляющей нагрузки привода;  $K_V$  – интенсивность роста среднеквадратичного отклонения мощности  $\sigma_x$  на единицу скорости подачи  $V_{\Gamma}$ .

Теряемая в приводе общая энергия

$$W_{\Pi} = \int_0^t \Delta P(t) dt = W_H + W_p, \quad (4)$$

где  $W_H$  – энергия, превращаемая в тепло, кВт·ч;  $W_p$  – энергия, расходуемая непосредственно на потерю прочности элементов привода, кВт·ч.

Энергия, превращаемая в тепло, также участвует в разрушении деталей привода, так как нагрев снижает предел их прочности, несущую способность масляной пленки трущихся пар, пластичность материала во времени, изменяет посадочные размеры деталей, релаксацию напряжений в крепежных элементах. Таким образом, процесс накопления повреждений в элементах трансмиссии в период эксплуатации определяется суммарными потерями энергии

$$W_{\Pi} = W_H + W_p = W_{HT} + W_{HT} + W_{PT} + W_{PT}, \quad (5)$$

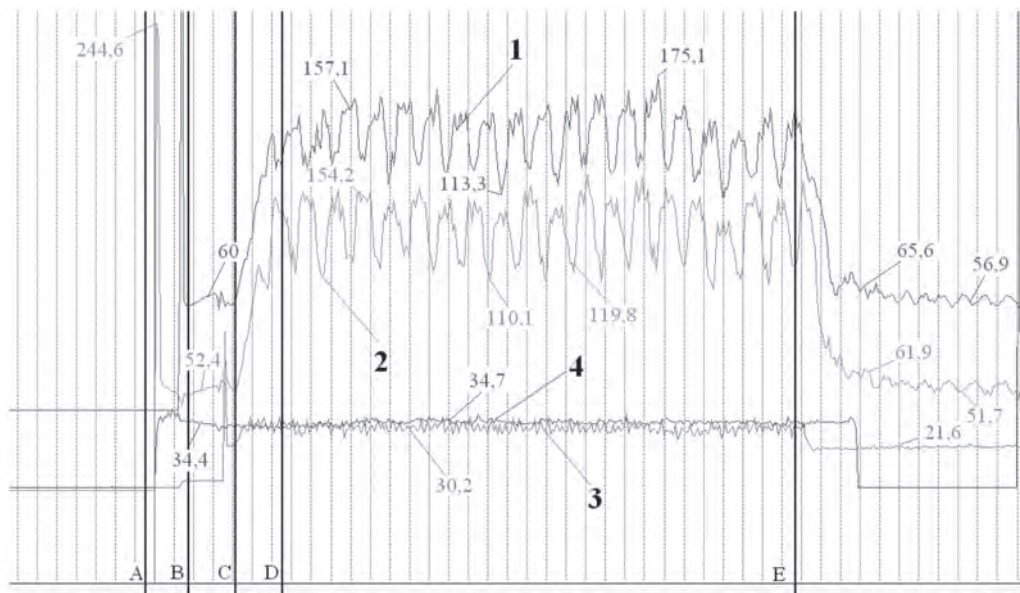
где  $W_{HT}$  – энергия диссипации, затрачиваемая на упругую деформацию трущихся поверхностей;  $W_{HT}$  – тепловые потери энергии;  $W_{PT}$  – часть диссипативной энергии внутреннего трения, расходуемая на усталостное разрушение предельно пластически деформированного материала;  $W_{PT}$  – часть внешней энергии трения, расходуемой на износ, пластическое деформирование деталей привода. Потери энергии в приводе, в зависимости от технического состояния и нагруженности элементов механической трансмиссии, достигают 30% [2, 3].

Энергетический подход к определению ресурса, как отдельных деталей, так и сложных машин является универсальным, а величина потерь энергии позволяет объективно оценить величину ресурса. Общий и остаточный ресурс однотипных трансмиссий может быть определен с достаточно высокой степенью вероятности по имеющейся непрерывной записи активной мощности двигателя (его эксплуатационной нагруженности) в межремонтный период.

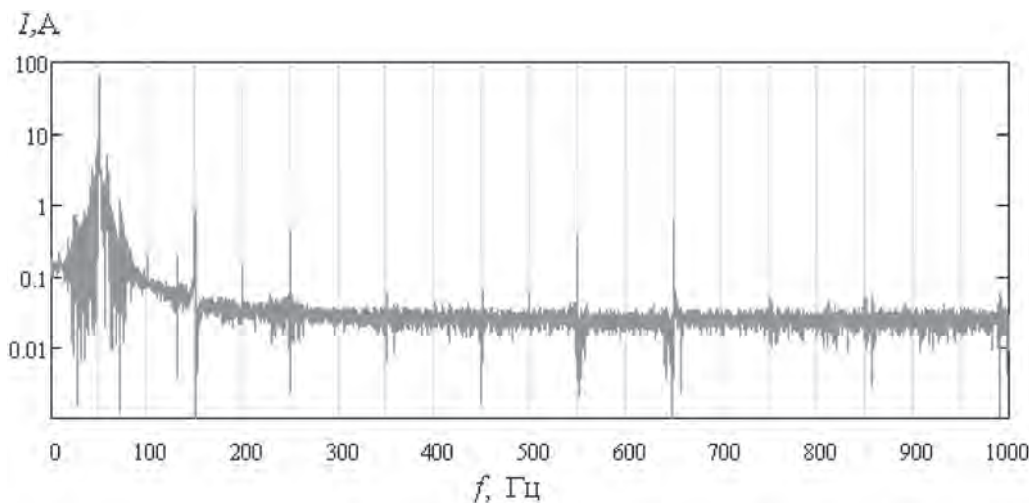
Исследование величины и характера изменения нагрузок элементов приводов комбайнов «Урал-20Р», эксплуатируемых на рудниках ОАО «Уралкалий», проведено сотрудниками кафедры горных и нефтепромысловых машин Пермского национального исследовательского политехнического университета совместно со специалистами ООО «Региональный канатный центр» (г. Пермь). Методи-

кой экспериментальных исследований предусматривалось использование специально разработанного программно-регистрирующего комплекса «ВАТУР», посредством которого осуществляется измерение и запись мгновенных значений токов, напряжений электродвигателей и перемещения работающего проходческо-очистного комбайна. Визуализация и обработка полученных данных осуществляется с помощью программы «Ватур-оф» (рис. 1). По измеренным мгновенным значениям эффективных токов и напряжений рассчитываются мгновенные значения активной и полной мощности исследуемых двигателей.

На приведенных графиках изменения активной мощности электродвигателей приводов комбайна «Урал-20Р» можно выделить участки запуска (А–В), холостого хода (В–С), зарубки (С–D) и установившегося режима работы (D–E). Движение комбайна осу-



**Рис. 1. Изменение мгновенных значений потребляемой активной мощности электродвигателей:** 1, 2 – приводы относительного движения резовых дисков; 3 – привод отбойного устройства; 4 – привод конвейера. Шаг линий сетки – 5 с (сносками обозначены мгновенные значения активных мощностей)



**Рис. 2. Спектр тока асинхронного электродвигателя привода относительного движения резовых дисков комбайна «Урал-20Р» (логарифмический масштаб оси амплитуд)**

шествовало сплошным забоем при средней скорости движения 10,5 м/ч. Один замер включал работу комбайна при отбойке от трех до семи вагонов руды.

Полученные данные обрабатывались с использованием методов математической статистики и спектрального анализа. Средние значения активной мощности, а также ее колебания, характеризующие среднеквадратичным отклонением, определялись для участков холостого хода и установившегося режима работы. Указанные параметры наиболее информативно характеризуют точность изготовления и сборки элементов трансмиссии, позволяют количественно оценить динамическую составляющую внешней нагрузки и эффективность процесса разрушения калийного массива по удельным энергозатратам [2].

Спектральный анализ записей токов, потребляемых электродвигателями, позволяет (рис. 2) выявить частотные составляющие, характеризующие колебания кинематической цепи исполнительный орган – редук-

тор – приводной двигатель. Дефекты рабочих узлов и механических передач обуславливают возникновение переменных нагрузок, что вызывает появление новых спектральных составляющих. Непрерывное измерение величин переменных составляющих в спектре тока, характеризующих конкретные дефекты в приводном электродвигателе и механической трансмиссии, с последующим анализом их изменений в процессе эксплуатации позволяет прогнозировать возможное время достижения контролируемыми величинами опасных значений.

Посредством анализа записей токов в асинхронных электродвигателях могут быть обнаружены дефекты электрической части ротора, включая обрывы обмотки ротора и замыкания пластин активного сердечника; электрической части статора, включая обрывы и электрическую несимметрию силовой обмотки, замыкания пластин активного сердечника; статический и вращающийся эксцентриситеты; дефекты подшипников, приводящие к флуктуации

ям формы воздушного зазора. Кроме того, важным диагностическим признаком является величина и длительность протекания пусковых токов.

В трансмиссиях исполнительных органов по характеру изменения сигнала токов могут быть диагностированы неисправности зубчатых зацеплений, посадки шестерен на вал, перекосы ведомых валов и их опор вращения, несоосность выстраиваемых в одну линию ведомых валов, дефекты пороодо-разрушающего инструмента [1].

К недостаткам способа оценки технического состояния трансмиссий по потребляемому току относится трудность (а иногда и невозможность) выявления ряда дефектов в начальной стадии развития. В первую очередь, это дефекты подшипников качения, выявление которых осуществляется опосредованно, например, по изменениям характеристик зубчатого зацепления. Применение многопараметрового контроля значительно повышает информативность и достоверность диагноза [1, 3].

Задача увеличения межремонтных сроков проходческо-очистных комбайнов должна решаться комплексно: совершенствованием конструкции машин и технологии их производства при одновременном повышении качества эксплуатации и ремонта. На основе достоверной информации о характере и величине нагрузок возможно функционирование систем автоматического управления режимов работы и защиты от перегрузок приводов проходческо-очистных комбайнов, учет действительных часов работы добычных машин и количества добытого полезного ископаемого. Создание диагностического комплекса, непрерывно регистрирующего токи, напряжения, активные мощности приводов и перемещение проходческо-очистного комбайна позволит наиболее просто реализовать автоматизированную оценку технического состояния добычной машины, осуществлять оценку полного и остаточного ресурса узлов трансмиссии, рационально организовывать ремонтные работы, а также оценивать качество их выполнения.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барков А.В., Баркова Н.А., Борисов А.А., Федоришев В.В., Грищенко Д.В. Методика диагностирования механизмов с электроприводом по потребляемому току. СПб.: НОУ «Севзапучцентр», 2012. 68 с.

2. Иванов С.Л. Повышение ресурса трансмиссий горных машин на основе оценки энергонагруженности их элементов.

СПб.: Санкт-Петербургский горный ин-т, 1999. 92 с.

3. Красников Ю.Д., Солод С.В., Хазанов Х.И. Повышение надежности горных выемочных машин. М.: Недра, 1989. 215 с.

4. Сальников А.Ф. Виброакустическая диагностика технических объектов. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. 247 с. **ГИАБ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Чекмасов Николай Васильевич – кандидат технических наук, доцент,

Трифанов Михаил Геннадьевич – младший научный сотрудник,

Шишлянников Дмитрий Игоревич – кандидат технических наук, доцент,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

e-mail: rector@pstu.ru;

Иванов Сергей Леонидович – доктор технических наук, профессор,

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», e-mail: rectorat@spmi.ru.

**METHODS FOR ASSESSING THE TECHNICAL STATE OF THE RESOURCE AND MECHANICAL TRANSMISSIONS HEADING-SHEARER «URAL-20R»**

Chekmasov N.V., Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor,  
Trifanov M.G., Junior Researcher,  
Shishljannikov D.I., Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor,  
Perm National Research Polytechnic University, e-mail: rector@pstu.ru;  
Ivanov S.L., Doctor of Technical Sciences, Professor,  
National Mineral Resource University «University of Mines», e-mail: rectorat@pmri.ru.

*The methods of technical diagnostics and residual life assessment of parts and components of mechanical transmissions mining machines. The results of experimental studies carried out by experts PSTU portable software and recording complex «VATUR» to assess the magnitude and nature of the load drives the executive bodies of the miner «Ural-20R». Proved promising and versatile approach to the determination of the energy of the residual resource, as individual components and complex multistage mechanical transmissions of mining machinery. Substantiated the main provisions of the methodology for assessing the technical condition of mechanical transmissions heading-shearers to change the current and motor power excavation machinery. Based on the analysis of regime parameters, development of statistics and design features heading-shearer «Ural-20R» proved the concept of onboard automated diagnostic complex, providing increase operational efficiency and combines the rational organization of repair work at enterprises engaged in production of potash ore by underground methods. The proposed method and apparatus allow the reduction of energy consumption to determine the fracture process potash array, which is a consequence of gas-dynamic phenomena and carry identification outburst zones.*

**Key words:** mechanical transmission, load, resource, diagnostic system, combine.

**REFERENCES**

1. Barkov A.V., Barkova N.A., Borisov A.A., Fedorishhev V.V., Grishhenko D.V. *Metodika diagnostirovaniya mehanizmov s jelektroprivodom po potrebljaemomu toku* (Technique of diagnosing the mechanisms by electric current consumption), Saint-Petersburg, NOU «Sevzapuchcentr», 2012, 68 p.
2. Ivanov S.L. *Povyshenie resursa transmissij gornyh mashin na osnove ocenki jenergonagruzhenosti ih jelementov* (Improving resource transmissions mining machines based on an assessment of their energonagruzhenosti elements), Saint-Petersburg, Sankt-Peterburgskij gornyj in-t, 1999, 92 p.
3. Krasnikov Ju.D., Solod S.V., Hazanov H.I. *Povyshenie nadezhnosti gornyh vyemochnyh mashin* (Increased reliability of mining excavation machinery), Moscow, Nedra, 1989, 215 p.
4. Sal'nikov A.F. *Vibroakkusticheskaja diagnostika tehniceskikh ob#ektov* (Vibroakkusticheskaja diagnosis of technical objects), Perm, Izd-vo Perm. nac. issled. politehn. un-ta, 2011, 247 p.



**РИСУЕТ ДАРЬЯ АБРЕНИНА**



Книга лучший подарок