DOI: 10.15593/224-9923/2015.14.7
УДК 622.232.83
© Асонов С.А., Габов В.В., Иванов С.Л., Трифанов М.Г., Чекмасов Н.В., Шишлянников Д.И., 2015

ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЪЕКТИВНОГО КОНТРОЛЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОБЫЧНЫХ ГОРНЫХ МАШИН

С.А. Асонов, В.В. Габов, С.Л. Иванов,
М.Г. Трифанов[1], Н.В. Чекмасов[1], Д.И. Шишлянников[1]

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
Санкт-Петербург, Россия
[1]ООО «Региональный канатный центр», Пермь, Россия

Обоснована актуальность разработки и внедрения автоматизированных бортовых систем регистрации параметров работы и оценки технического состояния горных машин очистных и проходческих механизированных комплексов. Выполнен анализ достоинств и недостатков существующих автоматизированных бортовых систем регистрации параметров работы и оценки технического состояния проходческо-очистных комбайнов калийных рудников. Сформулированы основные технические требования к конструкции, алгоритмам работы и функциям, реализуемым регистрирующими системами добычных машин калийных рудников. Предложен способ контроля параметров работы и обоснована концепция бортового программно-регистрирующего комплекса проходческо-очистных комбайнов «Урал». Представлены результаты экспериментальных исследований величины и характера изменения нагрузок приводов исполнительных органов комбайнов «Урал-20Р», полученные с использованием переносного измерительного комплекса «ВАТУР». Доказано, что существующие средства объективного контроля параметров работы проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» не обеспечивают эксплуатацию добычных машин в оптимальном режиме. Разработана методика анализа записей регистраторов параметров, обеспечивающая повышение эффективности эксплуатации оборудования механизированных комплексов посредством определения количественных величин, характеризующих технический и технологический уровень организации процесса добычи калийной руды. Предложены критерии оценки эффективности работы инженерных и сервисных служб горнодобывающего предприятия. Описан способ непрерывного автоматизированного контроля выбросоопасности калийного массива.

Ключевые слова: калийный рудник, проходческо-очистной комбайн, датчик, данные, регистратор, информация, параметры, нагруженность приводов, эксплуатация, контроль, бортовой программно-регистрирующий комплекс, сервис, техническое обслуживание, техническое состояние, ремонт, эффективность, безопасность.

INFORMATION AND DIAGNOSTIC TOOLS OF OBJECTIVE CONTROL AS MEANS TO IMPROVE PERFORMANCE OF MINING MACHINES

S.A. Asonov, V.V. Gabov, S.L. Ivanov

M.G. Trifanov[1], N.V. Chekmasov[1], D.I. Shishliannikov[1]

National Mineral Resources University (University of Mines),
Saint Petersburg, Russian Federation
[1] LLC “Regionalny Kanatny Tsentr”, Perm, Russian Federation

The paper justifies relevance of developing and implementing automated onboard systems for operation data and maintenance recording in heading-and-winning machines. The analysis is presented of advantages and disadvantages of existing automated onboard systems for operation data and maintenance recording in heading-and-winning machines for potassium mines. The basic technical requirements for the design, operating algorithms and functions of recording systems of mining machines for potassium mines are formulated. A method of controlling operating parameters is presented; the concept of onboard automated recording system for Ural heading-and-winning machine is outlined. The results of experimental studies of variations in loading of the Ural-20R miner's operating member drives, using the VATUR portable measuring complex, are given. It is proved that existing means of objective control of operating parameters of the URAL-20R heading-and-winning machine do not assure its optimal operation. The authors present a technique of analysing the data provided by parameter recorders, that allow increasing efficiency of mechanical complexes by determining numerical values characterizing the technical and technological level of potassium ore production organisation. The efficiency assessment criteria for engineering and maintenance departments of mining enterprises are advanced. A technology of continous automated monitoring of potassium mine's outburst hazard is described.

Keywords: potassium mine, heading-and-winning machine, sensor, data, registrator, information, parameters, drive loading, operation, control, onboard automated registering system, service, maintenance, technical condition, repairing, performance, safety.

Введение

На калийных рудниках России наибольшее распространение получили проходческо-очистные комбайны «Урал» производства ОАО КМЗ (г. Копейск, Челябинская обл.). Приводы рабочих органов комбайнов представляют собой совокупность независимых электромеханических трансмиссий (многоступенчатых редукторов) с трехфазными асинхронными электродвигателями. В ходе эксплуатации данных добычных машин, несмотря на положительные отзывы персонала инженерно-технических и ремонтных служб предприятий, выявлены недостатки, определяющие необходимость дальнейшего совершенствования их конструкции, повышения надежности и эффективности использования по назначению.

Комплексное решение задач повышения эффективности использования добычных машин калийных рудников возможно только при сбалансированном вкладе в развитие, разработку и внедрение как автоматизированных бортовых оперативных систем контроля технического состояния горных комбайнов, так и систем контроля и управления их режимами работы путем оперативного изменения соответствующих параметров. В комплект таких систем должны входить научно обоснованные методики анализа регистрируемых данных, алгоритмы предотвращения аварийных ситуаций, оповещения о недопустимом развитии событий с выдачей необходимых, соответствующих конкретной ситуации действий, технических решений или рекомендаций.

Актуальность задач по ускоренному развитию оперативного контроля режимов работы и технического состояния добычных машин обусловливается тенденцией устойчивого роста удельных затрат из-за аварийных простоев и незапланированных перерывов в использовании по назначению современных горных машин и оборудования добычных забоев, с увеличением их энерговооруженности и упущенной в связи с этим выгодой.

На горных предприятиях России и зарубежных стран накоплен громадный опыт эксплуатации горных машин и комплексов, оснащенных датчиками и бортовыми компьютерами для сбора информации об их техническом состоянии и режимах работы. Основное назначение таких систем – оперативная передача объективной информации оператору и сервисным службам для ее использования в планировании и проведении более качественного технического обслуживания и ремонта техники. Однако анализ причин отказов, сбоев в устойчивости режимов работы машин и оборудования в реальном масштабе времени весьма затруднителен. Поэтому сложно принимать конкретные, адекватные реальным ситуациям оперативные решения.

Идея технического решения

В отличие от известных методо в здесь не только одновременно решаются задачи разных уровней единого процесса, но и могут формироваться технически обоснованные действия, выдаваться технические решения и рекомендации обслуживающему персоналу:

– сбор, обработка и накопление данных;

– преобразование данных в конкретные виды информации;

– диагностика технического состояния узлов, машин, агрегатов, систем и формирование технических действий, технических решений и рекомендаций;

– диагностика режимов работы машин, агрегатов, комплексов, систем и формирование технических действий, организационных решений и рекомендаций.

Решаются (могут решаться) и комплексные задачи: тестовые испытания машин, оборудования, комплексов и систем; контроль режимов работы машин, комплексов и систем; контроль эффективности работы операторов, эффективности

технологической и организационной подготовки производства, оценки состояния систем электроснабжения, вентиляции, пылеподавления, сигнализации и некоторые другие, существенно влияющие на работу контролируемого оборудования.

К сожалению, в настоящее время формированию технических действий и решений, рекомендаций и оценок действующих операторов, технологов и других специалистов не уделяется должного внимания, а упомянутые выше комплексные задачи выполняются в виде отдельно и специально проводимых испытаний техники.

Идеологическими прототипами устройств сбора, обработки и хранения данных являются электромеханические, хемотронные и электронные концентраторы информации, которые испытывались и использовались в производстве. Например, хемотронные регистраторы определяли статистические характеристики нагруженности машин, а данные, получаемые регистраторами типа ИНМ-1, позволяли определять дифференцированные оценки режимов работы машин: коэффициентов перегрузок, степени использования машины с недогрузкой, в номинальных режимах, на холостом ходу, частоты запусков, оценки динамической нагруженности привода, коэффициентов квалификации оператора машины, технологической подготовки производства за контролируемый (назначенный) период времени – час, смену, сутки – и некоторые другие [1, 2].

Методов получения объективной информации о техническом состоянии оборудования много, но прежде всего необходимо эффективно использовать информацию от штатных датчиков и приборов, уже имеющихся в действующей технике, аппаратах и системах. Дополнительная информация, получаемая с использованием специальных диагностических средств, позволяет повысить достоверность информации, качество прогнозной оценки на ближайшую перспективу, что повышает эффективность технического обслуживания и ремонта горных машин.

Своевременная техническая диагностика способствует сокращению времени осмотра и анализа технических объектов экспертами, времени и количества плановых и неплановых ремонтов, уменьшению затрат на техническое обслуживание и ремонты.

В настоящее время на рудниках ОАО «Уралкалий» осуществляется опытная эксплуатация систем электрогидравлического управления (СЭУ) и мониторинга комбайнов «Урал-20Р». В состав СЭУ входят датчики измерения концентрации метана в атмосфере очистных выработок, беспроводные датчики измерения температуры и предельного уровня масла в редукторах комбайна, датчики измерения температуры подшипниковых узлов. В магнитной станции комбайна установлены датчики тока для контроля нагрузок электродвигателей комбайна. На основе сигналов измерительных трансформаторов тока реализуется защита двигателей от перегрузок и отключение электрооборудования в случае превышения допустимого уровня концентрации метана в призабойном пространстве. Системы обеспечивают непрерывный контроль температуры подшипниковых узлов и масляных ванн редукторов, запись токов, двигателей комбайнов, контроль времени использования и некоторые режимные параметры работы добычной машины. Контроль концентрации метана в атмосфере выработки и возможность осуществления связи с диспетчером рудника, безусловно, повышают безопасность ведения добычных работ. Вся полученная информация с датчиков, включая данные о работе системы управления комбайном, фиксируется в энергонезависимой памяти, соотнесена с реальным временем и отображается непосредственно на пульте управления. Особенностью описываемой аппаратуры является возможность передачи информа-

ции от комбайна на пульт диспетчера через коммуникационную сеть рудника. Для копирования данных о работе комбайна на персональные компьютеры инженерно-технического персонала предприятия предусмотрены устройства переноса информации на флеш-карты [3].

К недостаткам рассмотренных бортовых комплексов следует отнести сложность структуры и недостаточную информативность контролируемых параметров. Известно, что термодинамические методы оценки технического состояния механических трансмиссий малоэффективны вследствие высокой инерционности и неоднородности среды (корпус, валы, подшипники, зубчатые колеса и т.д.). Местные перегревы нивелируются в общем поле температур редукторов. Сама же средняя температура трансмиссии является результирующей двух тепловых потоков: деградационного, связанного с диссипацией энергии в элементах трансмиссии (своеобразного источника нагрева), и теплового потока от корпуса редуктора в окружающую среду (эффективности охлаждающей системы), во многом зависящего от параметров этой среды, наличия загрязнений внешней поверхности редуктора. Установившаяся температура масла, в свою очередь, зависит от интенсивности охлаждения корпуса редуктора [4].

Низкая эффективность термодинамического мониторинга обусловливает необходимость периодического проведения других видов диагностики, в частности вибрационного контроля приводов комбайна с целью уточнения неисправного состояния отдельных элементов. Но специальные виды диагностики обладают высокой трудоемкостью, временными затратами. Большое количество датчиков удорожает стоимость, снижает надежность и безопасность системы и удобство обслуживания бортовых автоматизированных систем горных машин.

Величина и характер изменения токов, потребляемых электродвигателями, весьма опосредованно характеризуют нагруженность приводов комбайнов. Высокая энерговооруженность оборудования механизированных комплексов и мягкая шахтная сеть электроснабжения вызывают «просадку» напряжения пропорционально увеличению тока нагрузки приводов. По этой же причине низкой эффективностью характеризуются системы автоматического управления, регулирования и защит, основанные только на контроле величин потребляемых токов.

Отсутствие информации о соотнесенных с текущим временем смены (суток) перемещениях добычной машины, значениях мгновенной и средней скорости подачи комбайна на забой при анализе записей бортовых регистраторов затрудняет оценку степени устойчивости режима работы комбайнов с номинальными нагрузками, текущих значений эксплуатационной производительности и эффективности использования технологического оборудования во времени. Наличие датчиков метана не отменяет необходимости осуществления инструментального контроля выбросоопасности калийного массива, вызванной изменением напряженно-деформированного состояния соляных пород при интенсивном ведении очистных работ или в зонах геологических нарушений.

В работах сотрудников ведущих научно-образовательных учреждений и отраслевых институтов России неоднократно указывалось, что наиболее информативным и просто реализуемым методом контроля режимных параметров работы и повышения безопасности использования добычных машин является непрерывный контроль нагруженности приводов рабочего оборудования комбайнов, осуществляемый посредством замеров токов, напряжений, активных и полных мощностей, потребляемых электродвигателями [5–9].

Сотрудниками кафедры «Горная электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета совместно со специа-

листами ООО «Региональный канатный центр» (г. Пермь) разработан опытный образец программно-регистрирующего комплекса «ВАТУР», обеспечивающего измерение, запись и сохранение основных параметров работы приводов проходческо-очистных комбайнов (рис. 1).

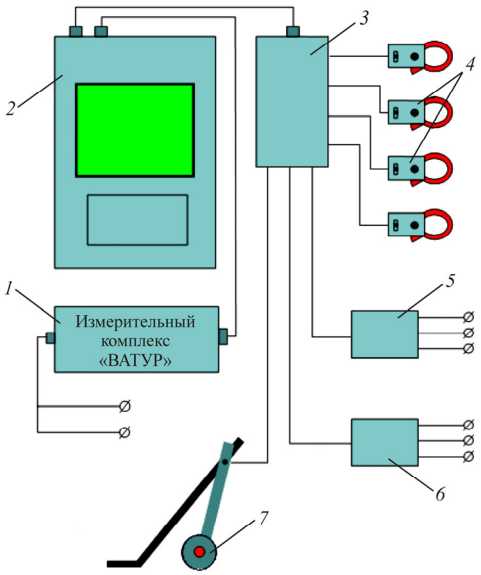

Рис. 1. Структурная схема измерительного комплекса «ВАТУР»: *1* – блок питания; *2* – процессорный блок; *3* – блок коммутации; *4* – датчики тока (токовые клещи); *5*, *6* – датчики напряжения; *7* – датчик перемещения

В состав измерительного комплекса входят процессорный блок, блоки питания и коммутации, токовые клещи, датчики напряжения и перемещения. Комплекс «ВАТУР» осуществляет 100 измерений в течение одного периода питающей сети 20 мс. В общем случае питающее напряжение и нагрузка двигателей комбайнов имеют симметричный характер, поэтому для измерения активной мощности в трехфазной цепи принят метод одного ватт-метра с искусственным нулем. Значения эффективного тока, напряжения, активной и полной мощности определяются по измеренным мгновенным значениям тока и напряжения [10, 11].

Программно-регистрирующий комплекс «ВАТУР» обеспечивает возможность создания и хранения массивов данных, содержащих информацию о длительных периодах работы проходческо-очистного комбайна. Визуализация и обработка полученных данных осуществляется посредством специально разработанной программы «Ватур-оф» с использованием методов математической статистики и спектрального анализа.

Известно, что процесс формирования нагрузок на элементы приводов добычных комбайнов является случайным и, в общем случае, нестационарным. На графике изменения активной мощности электродвигателя относительного вращения резцовых дисков (рис. 2) можно выделить участки запуска, холостого хода, зарубки, установившегося режима работы и отключения комбайна. Изменение нагрузки на приводы обусловливает изменение значения питающего напряжения (см. поз *1*, рис. 2). Датчик перемещения, установленный на боковой лыже, обеспечивает возможность определения скорости подачи комбайна на забой и положения добычной машины в выработке.

Измерения, проведенные на комбайне «Урал-20Р», эксплуатируемом на СКРУ-3, пласт «Красный-II», показали, что в установившемся режиме работы (когда машинист, ориентируясь на показания индикаторов нагрузки двигателей, не допускает их перегрузки) двигатели комбайна недогружены. Средняя нагрузка комбайна при скорости подачи $v_п \approx$ $\approx$ 7,3 м/ч (производительность 4,08 т/мин) составила 419,9 кВт при установленной мощности 710 кВт. Загрузка двигателей резцовых дисков составила 106,3 и 114,6 кВт при номинальной мощности 160 кВт, т.е. 66 и 72 % от номинальной (таблица). Нагрузка остальных приводов была еще меньше. Это связано с тем, что установленные на последних модификациях комбайнов индикаторы загрузки двигателей настроены на мгновенные

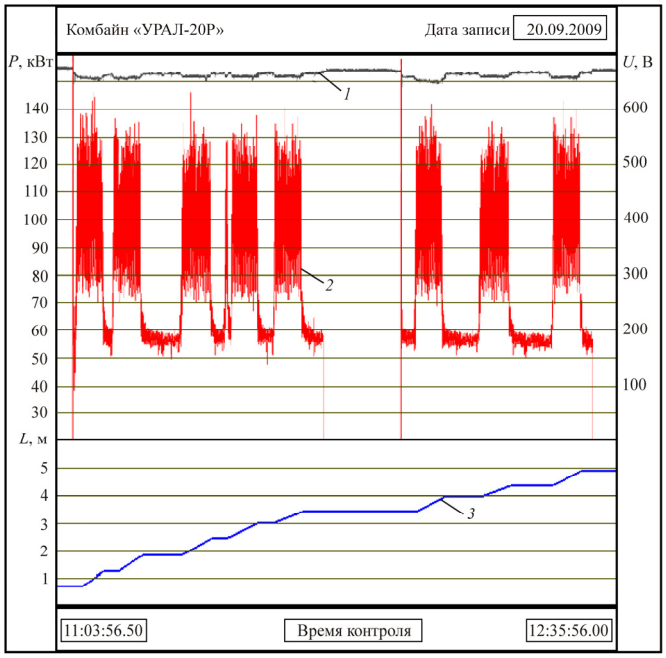

Рис. 2. Визуализация графиков изменения параметров работы комбайна «Урал-20Р» в программе «Ватур-оф»: *1* – напряжение питающей сети, В; *2* – активная мощность, потребляемая двигателем относительного вращения резцовых дисков, кВт; *3* – перемещение комбайна, м. Скорость подачи комбайна на забой $v_п \approx 7{,}3$ м/ч

Нагруженность приводных двигателей комбайна «Урал-20Р»

Обследуемые двигатели механизмов	Нагрузка (кВт) при скорости подачи		Номинальная мощность привода, кВт
	$v_п = 7{,}35$ м/ч	$v_п = 12{,}0$ м/ч	
Резцовых дисков 1	106,3	167,3	160
Резцовых дисков 2	114,6	189,5	160
Бермового органа	101,6	165,0	2×75
Отбойного устройства	27,4	40,9	45
Механизма переносного движения	29,8	43,1	75

(пиковые) нагрузки на двигатель. В результате индикатор начинает сигнализировать о перегрузке при 60–70%-ной нагрузке.

После анализа полученных результатов проведены повторные измерения на том же комбайне, но с увеличенной скоростью подачи до $v_п \approx 12{,}0$ м/ч (производительность 7 т/мин). Средняя нагрузка двигателей резцовых дисков за период загрузки бункера-перегружателя составила 167,3 и 189,5 кВт, т.е. эти двигатели имели перегрузку 5 и 18 %. Мощность двигателя верхнего отбойного устройства – 40,9 кВт (91 % от номинальной), двух двигателей бермовых фрез – 165,0 кВт (перегружены на 10 %), двигателя переносного вращения – 43,1 кВт (57,4 % от номинальной загрузки). Таким образом, проведенные измерения показали, что при скорости подачи комбайна $v_п \approx 12{,}0$ м/ч двигатели привода переносного движения и отбойного устройства недогружены, в то время как приводы резцовых дисков и бермового органа работают с перегрузкой [12].

Полученные результаты согласуются со статистическими данными по аварийным отказам комбайнов «Урал-20Р». Согласно информации ОАО «Уралкалий» приводы переносного вращения и отбойного устройства характеризуются наименьшим числом внезапных отказов.

Спектральный анализ аналоговых сигналов токов, полученных с использованием измерительного программно-регистрирующего комплекса «ВАТУР», позволяет выявить частотные составляющие, характеризующие колебания кинематической цепи «исполнительный орган – редуктор – приводной двигатель». Частотный диапазон, несущий информацию о ненадлежащем состоянии электромеханического привода комбайна, не превышает 10 Гц. Записи спектров тока на частотах до 1000 Гц в основном представляют собой шумы и фиксируют всплески на частотах, кратных несущей частоте токов шахтной сети. Таким образом, высокочастотные записи токов для анализа состояния механической системы комбайна малоинформативны. Дефекты рабочих узлов и механических передач обусловливают возникновение переменных нагрузок, что вызывает появление новых спектральных составляющих. Периодическое измерение величин в спектре тока, характеризующих конкретные дефекты в приводном электродвигателе и механической трансмиссии, позволяет осуществлять оценку технического состояния привода добычной машины и, при необходимости, с большой достоверностью планировать ремонтно-профилактические или предупредительные мероприятия, направленные на предупреждение аварийных отказов.

К недостаткам способа оценки технического состояния трансмиссий по потребляемому току относится трудность выявления ряда дефектов в начальной стадии развития. В первую очередь это дефекты подшипников качения, выявление которых осуществляется опосредованно, например по изменениям характеристик зубчатого зацепления [13].

Использование бортовых измерительных систем, непрерывно регистрирующих мощности электродвигателей, перемещение и скорость подачи добычной машины в очистной выработке, позволяет наиболее просто и достоверно осуществлять контроль эксплуатационной нагруженности приводов комбайна во времени, обусловливает возможность оперативного выявления негативных факторов и тенденций, влияющих на интенсивность реализации основных технологических процессов отбойки и транспортирования калийной руды. На основе актуальной информации о величине и характере нагруженности приводов возможно функционирование эффективных систем автоматического управления комбайна и непрерывная реализация контроля выбросоопасности разрабатываемых пластов. Использование методов математической статистики и спектрального анализа при обработке полученных ваттметрограмм позволит выявить диагностические признаки и создать адаптированные методики оценки технического состояния узлов привода добычных машин, что положительно отразится на показателях надежности и эффективности использования проходческо-очистных комбайнов калийных рудников.

Определенное по ваттметрограмме значение времени работы комбайна в установившемся режиме при отбойке одного вагона руды, отнесенное к величине перемещения, позволяет рассчитать значение скорости подачи и техническую производительность добычной машины, определить величину удельных энергозатрат процесса разрушения калийного массива резцами комбайна:

$$v_{\text{п}} = L / T_{\text{у.р}},$$

$$Q_{\text{т}} = v_{\text{п}} F \gamma,$$

$$H_w = P\left(60 Q_{\text{т}}\right)^{-1},$$

где $T_{\text{у.р}}$ – время работы комбайна в установившемся режиме при отбойке одного вагона руды, мин; L – перемещение ком-

байна при отбойке одного вагона руды, м; $Q_т$ – техническая производительность комбайна при отбойке одного вагона руды, т/мин; F – площадь забоя, обрабатываемая исполнительным органом, м^2; γ – плотность руды в массиве, т/м^3; P – среднее значение активной мощности двигателей в установившемся режиме работы при отбойке одного вагона руды, кВт; H_w – удельные энергозатраты процесса разрушения калийного массива резцами комбайна, кВт·ч/т.

Удельное энергопотребление комбайна при отбойке руды во многом зависит от скорости подачи добычной машины на забой и физико-механических свойств калийного массива. Специалистами ВНИИ Галургии установлено, что снижение удельных энергозатрат при разрушении является достоверным признаком высокой выбросоопасности соляных пород [9]. Таким образом, контроль активной мощности, потребляемой двигателями комбайна, и перемещения добычной машины позволяет осуществлять непрерывный автоматизированный прогноз газодинамических явлений в калийном массиве, что повышает интенсивность и безопасность ведения очистных работ.

Наличие продолжительных периодов работы двигателей комбайна в режиме холостого хода объясняется низкой производительностью средств доставки руды в очистных камерах – шахтных самоходных вагонов. Общее время работы приводов в режиме холостого хода определяется по ваттметрограмме и характеризует длительность вспомогательных операций при реализации основных технологических процессов отбойки и транспортирования руды.

Двигатели комбайна отключаются от сети при выполнении технического обслуживания, перемонтажа оборудования, маркшейдерских работ и пр. Данные перерывы в процессе добычи обусловлены технологическими причинами.

Время нахождения комбайна в плановых или аварийных ремонтах, а также стоимость выполненных ремонтных работ фиксируются в базах данных сервисных служб предприятия. Таким образом, календарное время эксплуатации добычной машины может быть достоверно определено и рассчитано по формуле

$$T_{э.к} = \sum T_{у.р} + \sum T_{в.о} + \\ + \sum T_{п.т} + \sum T_{р.п} + \sum T_{р.а}, \qquad (1)$$

где $T_{э.к}$ – календарное время эксплуатации комбайна на руднике, ч; $\sum T_{у.р}$ – суммарное время работы комбайна в установившемся режиме, ч; $\sum T_{в.о}$ – суммарное время вспомогательных операций и переходных процессов при работе комбайна, ч; $\sum T_{п.т}$ – длительность технологических перерывов, ч; $\sum T_{р.п}$ – длительность плановых ремонтов, ч; $\sum T_{р.а}$ – длительность ремонтных работ, вызванных аварийными отказами оборудования, ч.

Исходя из формулы (1) критерии интегральной оценки эффективности использования оборудования механизированных комплексов, работы инженерно-технических и сервисных служб рудника могут быть определены следующими зависимостями:

$$k_{м.в} = \sum T_{у.р} \sum \left(\sum T_{у.р} + \sum T_{в.о} + \sum T_{п.т} \right)^{-1},$$

$$k_{п.т} = 1 - \left(\sum T_{в.о} + \sum T_{п.т} \right) \times \\ \times \left(\sum T_{у.р} + \sum T_{в.о} + \sum T_{п.т} \right)^{-1},$$

$$k_{э.г} = 1 - \left(\sum T_{р.п} + \sum T_{р.а} \right) T_{э.к}^{-1},$$

$$k_{э.г} = 1 - \left(\sum T_{р.п} + \sum T_{р.а} \right) T_{э.к}^{-1},$$

где $k_{м.в}$ – коэффициент машинного времени, характеризующий эффективность использования комбайна, $k_{м.в}$ = 0…1; $k_{п.т}$ – коэффициент технологической подготовки, характеризующий уровень реализации процессов добычи и транспортирования руды в очистной камере, $k_{п.т}$ = 0…1; $k_{э.г}$ –

коэффициент эксплуатационной готовности, характеризующий надежность используемого оборудования и уровень работы сервисных служб предприятия $k_{э.г}$ = = 0…1; $k_{а.п}$ – коэффициент аварийных простоев, характеризующий интенсивность потока внезапных отказов оборудования.

Оценка обоснованности проведения ремонтно-восстановительных работ возможна посредством определения стоимости машино-часа эксплуатационной готовности комбайна [14, 15]:

$$q_{э.г} = \frac{Q_{з.р}}{\sum T_{у.р} + \sum T_{в.о}},$$

где $q_{э.г}$ – стоимость одного машино-часа готовности комбайна, тыс. руб/ч; $Q_{з.р}$ – материальные затраты, связанные с поддержанием исправного состояния добычной машины (зарплата ремонтных рабочих, закупка запасных частей и т.д.) в расчетный период, тыс. руб.

Существенное увеличение стоимости машино-часа готовности отдельного комбайна по сравнению с остальными используемыми добычными машинами обусловливает необходимость постановки машины на капитальный ремонт или списания.

Заключение

Представленный в статье анализ показывает, что информационно-диагностические средства объективного контроля на базе программно-регистрирующего комплекса «ВАТУР» являются перспективной инновационной разработкой для горной промышленности и позволяют повысить эксплуатационную надежность горной техники.

Разработана методика анализа записей регистраторов параметров, обеспечивающая повышение эффективности эксплуатации оборудования механизированных комплексов посредством определения количественных величин, характеризующих технический и технологический уровень организации процесса добычи калийной руды.

Предложенные критерии оценки работы инженерных и сервисных служб горнодобывающего предприятия являются действенным инструментом повышения их эффективности при проведении профилактических мероприятий при переводе техники на обслуживание по фактическому состоянию.

Список литературы

1. Шмарьян Е.М., Лепихов А.И., Гавинский Ю.А. Исследование и разработка аппаратуры для непрерывной регистрации режимов эксплуатации горной техники // Тр. ИГД им. А.А. Скочинского. – 1979. – № 172. – С. 48–54.
2. Габов В.В., Третьяков Н.М., Модестов Ю.А. Прибор ИНМ-1 контроля режимов работы горных машин // Механизация горных работ на угольных шахтах: сб. науч. тр. – Тула: Изд-во Тул. политехн. ин-та, 1984. – С. 59–63.
3. Загвоздкин И.В., Лесов Г.П., Янович Д.М. Обеспечение безопасности и безаварийной работы комбайновых комплексов на рудниках ОАО «Уралкалий» // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 9. – С. 46–49.
4. Методы оценки технического состояния и остаточного ресурса механических трансмиссий проходческо-очистного комбайна «Урал» / Н.В. Чекмасов, М.Г. Трифанов, Д.И. Шишлянников, С.Л. Иванов // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2014. – № 4. – С. 272–278.
5. Пилотная диагностика состояния трансмиссий горных машин по параметрам питания электропривода / С.Л. Иванов, М.А. Семенов, А.С. Иванов, А.А. Поддубная, А.С. Фокин // Записки Горн. ин-та. Т. 178. Проблемы горно-транспортных систем и электромеханики. – СПб., 2008. – С. 159–161.
6. Коломийцев М.Д. Эксплуатация горных машин и автоматизированных комплексов. – Л.: Изд-во Ленинград. горн. ин-та, 1988. – 96 с.
7. Красников Ю.Д., Солод С.В., Хазанов Х.И. Повышение надежности горных выемочных машин. – М.: Недра, 1989. – 215 с.
8. Иванов С.Л. Повышение ресурса трансмиссий горных машин на основе оценки энергонагруженности их элементов. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. горн. ин-та, 1999. – 92 с.
9. Лаптев Б.В. Предотвращение газодинамических явлений на калийных рудниках. – М.: Недра, 1994. – 138 с.
10. Бреннер В.А., Зильберт И.С., Зыков В.А. Режимы работы комбайнов для добычи калийных руд. – М.: Недра, 1978. – 216 с.
11. Исследование нагруженности и возможности прогнозирования энергоресурса приводов исполнительных органов комбайна «Урал-20Р» / Г.Д. Трифанов, А.А. Князев, Н.В. Чекмасов, Д.И. Шишлянников // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 2. – С. 41–44.
12. Чекмасов Н.В., Шишлянников Д.И., Трифанов М.Г. Оценка эффективности процесса разрушения калийного массива резцами исполнительных органов комбайна «Урал-20Р» // Известия вузов. Горный журнал. – 2013. – № 6. – С. 103–107.
13. Барков А.В., Баркова Н.А., Борисов А.А. Методика диагностирования механизмов с электроприводом по потребляемому току. – СПб.: Севзапучцентр, 2012. – 68 с.
14. Андреева Л.И. Методология формирования технического сервиса горно-транспортного оборудования на угледобывающем предприятии: автореф. дис. … д-ра техн. наук. – Екатеринбург, 2004. – 25 с.
15. Красников Ю.Д., Прушак В.Я., Щерба В.Я. Горные машины. – Минск: Выш. шк., 2003. – 148 с.

References

1. Shmar'ian E.M., Lepikhov A.I., Gavinskii Iu.A. Issledovanie i razrabotka apparatury dlia nepreryvnoi registratsii rezhimov ekspluatatsii gornoi tekhniki [Study and design of devices for continuous logging of mining machine's operating condition]. *Trudy Instituta gornogo dela imeni A.A. Skochinskogo*, 1979, no. 172, pp. 48–54.

2. Gabov V.V., Tret'iakov N.M., Modestov Iu.A. Pribor INM-1 kontrolia rezhimov raboty gornykh mashin [The INM-1 integrator for monitoring operations of mining machines]. *Sbornik nauchnykh trudov "Mekhanizatsiia gornykh rabot na ugol'nykh shakhtakh"*. Tul'skii politekhnicheskii institut, 1984, pp. 59–63.

3. Zagvozdkin I.V., Lesov G.P., Ianovich D.M. Obespechenie bezopasnosti i bezavariinoi raboty kombainovykh kompleksov na rudnikakh OAO "Uralkalii" [Assuring safety and trouble-free operation of mining machines in the mines developed by OJSC "Uralkalii"]. Bezopasnost' truda v promyshlennosti, 2013, no. 9, pp. 46–49.

4. Chekmasov N.V., Trifanov M.G., Shishliannikov D.I., Ivanov S.L. Metody otsenki tekhnicheskogo sostoianiia i ostatochnogo resursa mekhanicheskikh transmissii prokhodchesko-ochistnogo kombaina "Ural" [Methods of assessment of technical condition and remaining life time of the Ural heading-and-winning machine]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten'*, 2014, no. 4, pp. 272–278.

5. Ivanov S.L., Semenov M.A., Ivanov A.S., Poddubnaia A.A., Fokin A.S. Pilotnaia diagnostika sostoianiia transmissii gornykh mashin po parametram pitaniia elektroprivoda [Trial inspection of miner's transmission mechanisms condition by monitoring input drive current]. *Zapiski Gornogo instituta. Tom. 178. Problemy gorno-transportnykh sistem i elektromekhaniki*. Sankt Petersburg, 2008, pp. 159–161.

6. Kolomiitsev M.D. Ekspluatatsiia gornykh mashin i avtomatizirovannykh kompleksov [Operation of mining machines and automated systems]. Leningradskii gornyi institut, 1988. 96 p.

7. Krasnikov Iu.D., Solod S.V., Khazanov Kh.I. Povyshenie nadezhnosti gornykh vyemochnykh mashin [Improving reliability of winning machines]. Moscow: Nedra, 1989. 215 p.

8. Ivanov S.L. Povyshenie resursa transmissii gornykh mashin na osnove otsenki energonagruzhennosti ikh elementov [Improving working life of mining machine transmission by monitoring energy loading of mechanisms]. Sankt-Peterburgskii gornyi institut, 1999. 92 p.

9. Laptev B.V. Predotvrashchenie gazodinamicheskikh iavlenii na kaliinykh rudnikakh [Prevention of gasdynamic manifestations in potassium mines]. Moscow: Nedra, 1994. 138 p.

10. Brenner V.A., Zil'bert I.S., Zykov V.A. Rezhimy raboty kombainov dlia dobychi kaliinykh rud [Operating conditions of miners for potassium ore production]. Moscow: Nedra, 1978. 216 p.

11. Trifanov G.D., Kniazev A.A., Chekmasov N.V., Shishliannikov D.I. Issledovanie nagruzhennosti i vozmozhnosti prognozirovaniia energoresursa privodov ispolnitel'nykh organov kombaina "Ural-20R" [Research on loading and possibility of forecasting energy parameters of the Ural-20R miner drives]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika,* 2013, no. 2, pp. 41–44.

12. Chekmasov N.V., Shishliannikov D.I., Trifanov M.G. Otsenka effektivnosti protsessa razrusheniia kaliinogo massiva reztsami ispolnitel'nykh organov kombaina "Ural-20R" [Evaluation of effectiveness of fragmenting potassium rock by cutters of the Ural-20R mining machine]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, 2013, no. 6, pp. 103–107.

13. Barkov A.V., Barkova N.A., Borisov A.A. Metodika diagnostirovaniia mekhanizmov s elektroprivodom po potrebliaemomu toku [Method of inspecting electric motor-driven machines by monitoring input current]. Sankt Petersburg: Sevzapuchtsentr, 2012. 68 p.

14. Andreeva L.I. Metodologiia formirovaniia tekhnicheskogo servisa gorno-transportnogo oborudovaniia na ugledobyvaiushchem predpriiatii [Methodology of arranging technical maintenance of mining-hauling equipment at a coal-production enterprise]. Abstract of a dissertation for a degree of Doctor of Technical Sciences. Ekaterinburg, 2004. 25 p.

15. Krasnikov Iu.D., Prushak V.Ia., Shcherba V.Ia. Gornye mashiny [Mining machines]. Minsk: Vysheishaia shkola, 2003. 148 p.

Об авторах

Асонов Сергей Алексеевич (Санкт-Петербург, Россия) – инженер, аспирант кафедры машиностроения Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский о-в, 21-я линия, 2; e-mail: ason11s@bk.ru).

Габов Виктор Васильевич (Санкт-Петербург, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский о-в, 21-я линия, 2; e-mail: gvv40@mail.ru).

Иванов Сергей Леонидович (Санкт-Петербург, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский о-в, 21-я линия, 2; e-mail: lisa_lisa@mail.ru).

Трифанов Михаил Геннадьевич (Пермь, Россия) – инженер, руководитель проекта ООО «Региональный канатный центр» (614000, г. Пермь, Комсомольский пр., 34б; e-mail: mt59@mail.ru).

Чекмасов Николай Васильевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент, инженер ООО «Региональный канатный центр» (614000, г. Пермь, Комсомольский пр., 34б; e-mail: bodrich8@mail.ru).

Шишлянников Дмитрий Игоревич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, инженер ООО «Региональный канатный центр» (614000, г. Пермь, Комсомольский пр., 34б; e-mail: 4varjag@mail.ru).

About the authors

Sergei A. Asonov (Saint Petersburg, Russian Federation) – Engineer, Postgraduate student, Department of Mechanical Engineering, National Mineral Resources University (University of Mines) (199106, St. Petersburg, 21st Line, Vasilevskii island, 2; e-mail: ason11s@bk.ru).

Viktor V. Gabov (Saint Petersburg, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mechanical Engineering, National Mineral Resources University (University of Mines) (199106, St. Petersburg, 21st Line, Vasilevskii island, 2; e-mail: gvv40@mail.ru).

Sergei L. Ivanov (Saint Petersburg, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mechanical Engineering, National Mineral Resources University (University of Mines) (199106, St. Petersburg, 21st Line, Vasilevskii island, 2; e-mail: lisa_lisa@mail.ru).

Mikhail G. Trifanov (Perm, Russian Federation) – Engineer, Project Executive, LLC "Regionalny Kanatny Tsentr" (614000, Perm, Komsomolsky av., 34b; e-mail: mt59@mail.ru).

Nikolai V. Chekmasov (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Engineer, LLC "Regionalny Kanatny Tsentr" (614000, Perm, Komsomolsky av., 34b; e-mail: bodrich8@mail.ru).

Dmitrii I. Shishliannikov (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Engineer, LLC "Regionalny Kanatny Tsentr" (614000, Perm, Komsomolsky av., 34b; e-mail: 4varjag@mail.ru).

Получено 14.01.2015

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Информационно-диагностические средства объективного контроля как инструмент повышения эффективности эксплуатации добычных горных машин / С.А. Асонов, В.В. Габов, С.Л. Иванов, М.Г. Трифанов, Н.В. Чекмасов, Д.И. Шишлянников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 14. – С. 62–71. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.14.7

Please cite this article in English as:

Asonov S.A., Gabov V.V., Ivanov S.L., Trifanov M.G., Chekmasov N.V., Shishliannikov D.I. Information and diagnostic tools of objective control as means to improve performance of mining machines. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2015, no. 14, pp. 62–71. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.14.7