

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГИСТРАТОРОВ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ

Д. И. Шишлянников

## Usage of recorders of work settings of tunneling-clearing combines at forecasting of gas-dynamic phenomena on potash mines

D. I. Shishlyannikov

The author analyses the main methods of instrumental control of outburst potash beds. The main drawbacks of existing methods of forecasting gas-dynamic phenomena in potassium massifs is the low level of automation and the cyclicity of measurements in a certain interval or period of time, resulting in reduced productivity of combine mechanized complexes and a negative impact on security of implementation of technological processes in the extraction chambers. The study formulates basic requirements, according to which it is necessary to carry out the development of methods and techniques of forecasting of gas-dynamic phenomena in the potash beds. This article describes a construction and functions of software and recording complex VATUR developed by employees of the department «Mining Electrical Engineering» of Perm National Research Polytechnic University. One can examine the results of experimental studies assessing the magnitude and nature of changes of the energy parameters of the process of destruction in potash massif by cutters of working parts of shaft-sinking cleansing combines URAL-20R. Studies have shown that the method of measurement and instruments provide detection of deviations of specific energy consumption of the process of destruction of potash massifs by working parts of combine with high precision and speed. The results of experimental studies allow substantiating the prospect of use of devices of registration of energy operating parameters of mining combines in the prediction of gas-dynamic phenomena in the potash mines. One can use the proposed concept of software measuring complex in the development of on-board recorders of operating parameters of shaft-sinking cleansing combines of potash mines.

*Keywords:* shaft-sinking clearing combine; gas-dynamic phenomena; recorder operating parameters; outburst forecast; potash massif.

Проанализированы основные методы инструментального контроля выбросоопасности калийных пластов. Основными недостатками существующих средств прогнозирования газодинамических явлений в калийных массивах является низкий уровень автоматизации и цикличность проведения замеров через определенный интервал или промежуток времени, что обуславливает снижение производительности механизированных комбайновых комплексов и негативно сказывается на безопасности реализации технологических процессов в очистных камерах. Сформулированы основные требования, в соответствии с которыми необходимо осуществлять разработку способов и методик прогноза газодинамических явлений в калийных пластах. Описаны конструкция и принцип действия программно-регистрающего комплекса VATUR, разработанного сотрудниками кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета. Представлены результаты экспериментальных исследований по оценке

величины и характера изменения энергетических параметров процесса разрушения калийного массива резами исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов УРАЛ-20R. Проведённые исследования показали, что используемый метод измерения и аппаратура обеспечивают выявление отклонений удельных энергозатрат процесса разрушения калийного массива исполнительными органами комбайна с высокой точностью и быстродействием. Результаты экспериментальной работы позволили обосновать перспективность использования средств регистрации энергетических параметров работы добычных комбайнов при прогнозировании газодинамических явлений на калийных рудниках. Предложенная концепция программно-измерительного комплекса может быть использована при разработке бортовых регистраторов параметров работы проходческо-очистных комбайнов калийных рудников.

*Ключевые слова:* проходческо-очистной комбайн; газодинамические явления; регистратор параметров работы; прогноз выбросоопасности; калийный массив.

В условиях повышения производительности добычных машин и увеличения нагрузки на забой актуальной для предприятий, осуществляющих добычу калийной руды подземным способом с использованием механизированных комбайновых комплексов, становится задачей обеспечения безопасности ведения горных работ. Успешному решению данной задачи способствует разработка и активное внедрение бортовых систем контроля параметров работы горных машин, обеспечивающих регистрацию и запись информации о нагруженности приводов добычных комбайнов, сигнализирующих о недопустимом развитии событий и нарушении технологического процесса добычи калийной руды.

Изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) массива калийных солей при интенсивном ведении очистных работ обуславливает повышение вероятности возникновения газодинамических явлений (ГДЯ), сопровождаемых обрушениями и выбросами значительных объемов горной массы в выработки. Динамические явления происходят в основном в призабойном пространстве и создают угрозу здоровью и жизни шахтеров. В настоящее время на отечественных и зарубежных калийных рудниках основным способом предотвращения ГДЯ является текущий прогноз, предусматривающий выявление выбросоопасных участков калийного массива инструментальными методами при ведении подготовительных и очистных работ [1–3]. На Верхнекамском месторождении калийно-магниевого солей были опробованы и получили применение следующие методы текущего прогноза ГДЯ.

*Барометрический метод* прогноза ГДЯ в калийном массиве основан на измерении скорости нарастания давления и количества газа в шпурах, пробуренных в породах кровли и загерметизированных. Благодаря простоте аппаратуры и методики проведения измерений метод получил широкое распространение на калийных рудниках. Однако следует отметить недостаточную достоверность барометрического метода, обусловленную тем, что в его основу положена концепция проявления ГДЯ вследствие действия только свободного газа, без учета НДС и физико-механических свойств пород. Приборы бароконтроля предъявляют жесткие требования к диаметру устья шпуров, что влияет на надежность их герметизации. Не учитывается также то обстоятельство, что если из калийного массива активно дренируется газ, то снижается напряжение внутри разрабатываемого пласта и степень его выбросоопасности уменьшается. По этой же причине недостаточно достоверным

следует считать метод контроля выбросоопасности калийных пластов, базирующийся на измерении концентрации горючих и токсичных газов в атмосфере выработки посредством установки на комбайн стационарной аппаратуры газового контроля, например, датчиков СД-1 или измерителей концентрации газов ИКГ-9.

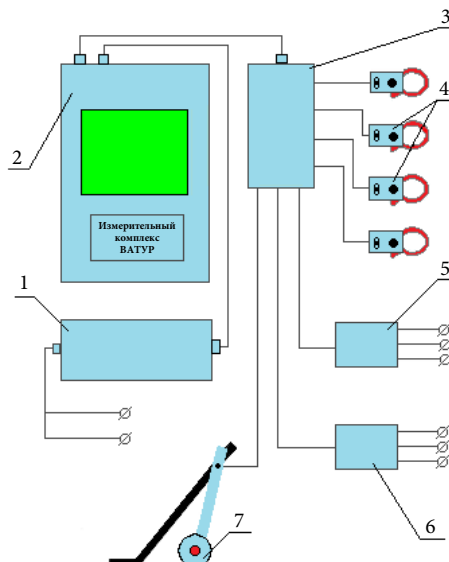
*Акустический метод* прогноза ГДЯ базируется на определении зависимости между степенью выбросоопасности калийного массива и объемом микровключенного газа, локализованного в кристаллах соляных пород. Метод реализуется посредством регистрации звукового сигнала при растворении соляных кристаллов и выделении газа в рассол. К недостаткам описанного способа прогноза ГДЯ следует отнести низкую достоверность, обусловленную влиянием температуры и нерастворимого остатка на акустическую активность солей. Рациональное использование данного метода достигается при относительной оценке содержания микровключенного газа в породах.

Высокой достоверностью характеризуются методы прогноза ГДЯ, основанные на оценке механического состояния соляных пород. Известно [4], что вероятность возникновения выбросов тем выше, чем ближе к критическому НДС находятся породы вокруг выработки. Оценка прочности соляных пород с учетом их потенциальной энергии, накопленной от сил горного и газового давления, осуществляется *контактным методом* и бурением скважин с отбором керна. Контактный метод предусматривает вдавливание индентора сферической формы в стенки скважин, пробуренных по периметру выработки, получение и анализ диаграмм разрушения соляных пород. При керновом методе оцениваются характер разрушения и крупность фрагментов кернов, отобранных при бурении скважин [1].

Основными недостатками перечисленных методов (за исключением способа, предусматривающего установку на комбайн аппаратуры газового контроля) является низкий уровень автоматизации и цикличность проведения замеров через определенный интервал или промежуток времени, за период которого может произойти ГДЯ. Для получения достоверной информации на рудниках с большим количеством подвижных забоев необходимо иметь значительный штат сотрудников, проводящих контрольно-измерительные мероприятия, осуществлять частый перенос и монтаж оборудования. Использование существующих инструментальных средств прогноза ГДЯ в непосредственной близости от забоя затруднено необходимостью ведения основных технологических процессов добычи и



а



б

**Рисунок 1. Программно-регистрационный комплекс ВАТУР. а – общий вид; б – структурная схема; 1 – блок питания; 2 – процессорный блок; 3 – блок**

**коммутации; 4 – датчики тока (токовые клещи); 5, 6 – датчики напряжения; 7 – датчик пути. Figure 1 | Software and recording complex VATUR.**

транспортирования калийной руды и может негативно влиять на производительность механизированного комплекса в целом.

В связи с вышесказанным, разработку методики текущего прогноза ГДЯ в калийном массиве необходимо осуществлять в соответствии со следующими требованиями:

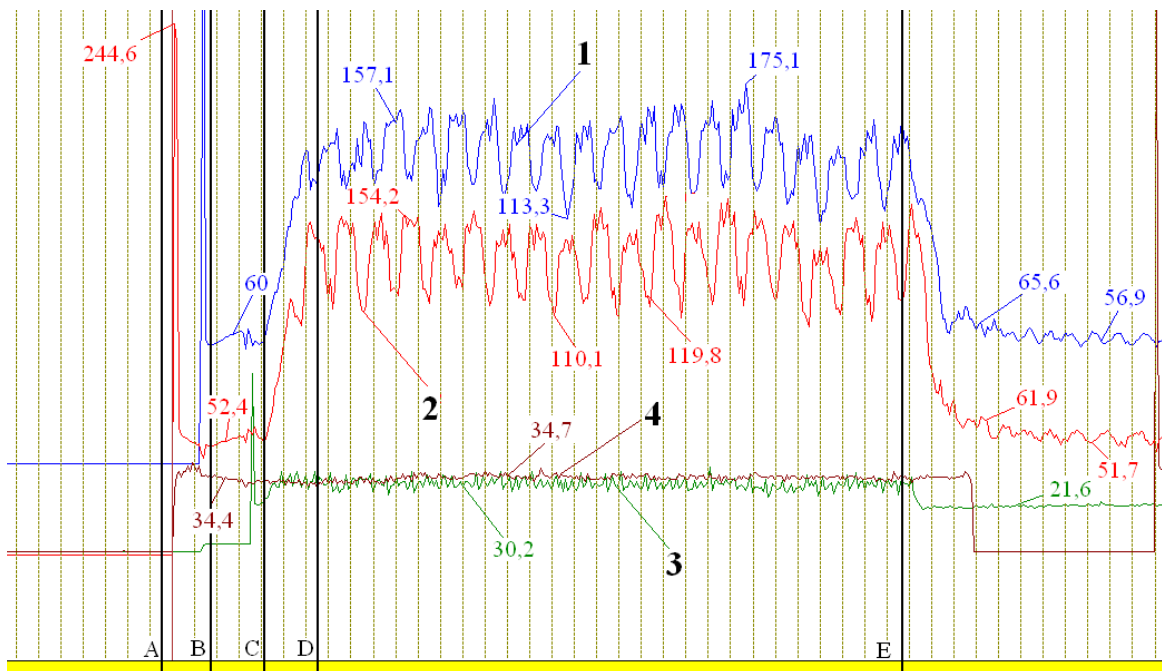
- комплексный учет всех факторов, влияющих на возникновение ГДЯ (прочностные и деформационные показатели пород, наличие включённого газа и изменение НДС массива при проведении горных работ);
- непрерывность проведения измерений с целью прогноза ГДЯ;
- реализация контрольно-измерительных мероприятий, не осложняющая технологические процессы добычи и транспортировки калийной руды.

Указанным требованиям наиболее полно соответствует [4] способ прогноза выбросоопасных зон калийного массива, предложенный Б. В. Лаптевым и М. М. Бейем (город Пермь, АО «ВНИИ Галургии») [5]. Метод основан на положении, что соляная порода, находящаяся в выбросоопасной зоне массива, отличается пониженной прочностью и повышенной напряженностью, обусловленной наличием горного и газового давления. Результаты многочисленных исследований, выполненных сотрудниками ВНИИ Галургии, позволили установить однозначную зависимость прочности на сжатие, сопротивляемости резанию, минералогического состава и степени выбросоопасности соляных

пород. Из вышесказанного следует, что прогнозирование зон ГДЯ возможно посредством непрерывного контроля удельных энергозатрат на разрушение калийного массива резцами исполнительных органов добычных машин.

Исследования по определению энергетических параметров процесса разрушения калийного массива резцами комбайнов УРАЛ-20Р, эксплуатируемых на рудниках ОАО «Уралкалий», выполнены сотрудниками кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского университета совместно со специалистами ООО «РКЦ» (город Пермь). Методикой экспериментальных исследований предусматривалось использование переносного регистрирующего комплекса ВАТУР (рис. 1), посредством которого осуществляется измерение и запись мгновенных значений токов и напряжений электродвигателей работающего проходческо-очистного комбайна [6, 7]. Сам описываемый прибор не является уникальным, подобные программно-регистрационные комплексы используются во многих областях промышленности, однако новаторскими являются область применения данного прибора и предлагаемый метод контроля выбросоопасности калийных пластов посредством контроля энергетических параметров.

В состав комплекса ВАТУР входят процессорный блок, блоки питания и коммутации, токовые клещи, датчики напряжения и датчик пути. Процессорный блок состоит из компьютера промышленного исполнения для переносных



**Рисунок 2. Графики активных трехфазных мощностей электродвигателей при средней скорости движения комбайна «УРАЛ 20R» – 10,5 м/ч. 1, 2 – приводы относительного движения резцовых дисков; 3 – привод отбойного устройства; 4 – привод**

**конвейера. Шаг линий сетки – 5 с. Сносками обозначены мгновенные значения активных мощностей, кВт / Figure 2 | Charts of active three-phase electric capacities at an average speed of the combine “URAL 20R” – 10.5 m / h.**

систем и аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Посредством токовых клещей обеспечивается преобразование входного тока в выходное напряжение в соотношении 1А : 1мВ. Датчики напряжения преобразуют входное напряжение до 1000 В в выходное напряжение в соотношении 1В : 3мВ. Сигналы с токовых клещей и датчиков напряжения подаются на вход АЦП, подключенного к компьютеру. Датчик пути изготовлен на основе инкрементального кодировщика угла поворота ПУФ-6 с 360 штрихами на оборот. Датчик устанавливается на боковой лыже и обеспечивает регистрацию перемещения комбайна.

В течение одного периода питающей сети 20 мс происходит 100 измерений. Каждые 0,5 с осуществляется вычисление эффективных значений тока, напряжения, активной и полной мощности, запись их на жесткий диск компьютера. Предварительные измерения на комбайнах показали, что питающее напряжение и нагрузка имеют симметричный характер, поэтому для измерения активной мощности в трехфазной цепи принят метод одного ваттметра. Визуализация и обработка полученных данных осуществляется посредством специально разработанной программы ВАТУР-ОФФ (рис. 2). На приведённых графиках изменения активной мощности, потребляемой электродвигателями относительно движения резцовых дисков комбайна, можно

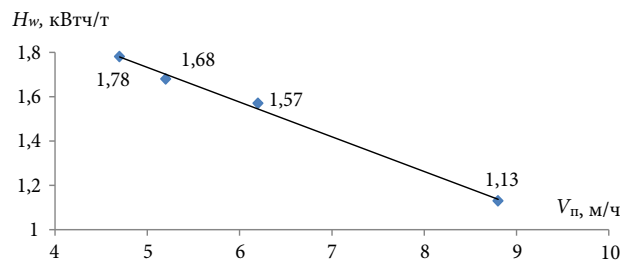
выделить участки запуска (А–В), холостого хода (В–С), зарубки (С–D) и установившегося режима работы (D–E).

Регистрация энергетических параметров работы комбайнов «УРАЛ-20R» посредством комплекса ВАТУР осуществлялась на руднике СКРУ-3, пласт «Красный-II» ПАО «Уралкалий». Исследования проводились в соответствии с методикой, согласованной с заводом-изготовителем. Комбайн шёл сплошным забоем при постоянной скорости подачи. Один замер включал работу комбайна при отбойке от трех до семи вагонов руды с заданным значением скорости от 4 до 12 м/ч. Величина удельных энергозатрат процесса разрушения калийного массива резцами исполнительных органов определялась для участков установившегося режима работы комбайна и рассчитывалась по формуле

$$H_w = \frac{P_a}{V_n F \gamma},$$

где  $H_w$  – удельные энергозатраты процесса резания, кВтч/т;  $P_a$  – мощность, потребляемая двигателями обследуемого исполнительного органа, кВт;  $F$  – площадь забоя, обрабатываемая исполнительным органом, м<sup>2</sup>;  $V_n$  – скорость подачи комбайна, м/ч;  $\gamma$  – плотность руды в массиве, т/м<sup>3</sup>.

Удельное энергопотребление комбайна существенно зависит от скорости подачи (рис. 3).



**Рисунок 3. Зависимость изменения удельных энергозатрат процесса разрушения калийного массива планетарно-дисковым исполнительным органом от скорости подачи комбайна «УРАЛ-20Р» / Figure 3 | The dependence of changes in the specific energy consumption of the process of destruction of the potassium array by planetary and disk executive body from the harvester feeding speed “URAL-20R”.**

Вследствие недостаточной производительности самоходных вагонов комбайны работают при пониженной скорости подачи  $V_p = 6-7$  м/ч. Работа комбайна с номинальной загрузкой двигателей и производительностью, близкой к паспортной, при  $V_p \approx 12$  м/ч приводит к снижению расхода электроэнергии на добычу полезного ископаемого в 1,5 раза.

Проведенные исследования показали, что используемый метод и аппаратура обеспечивают выявление отклонений удельных энергозатрат процесса разрушения калийного массива исполнительными органами комбайна с высокой точностью и быстродействием. Значения энергозатрат разрушения массива, соотнесенные со скоростью подачи комбайна, могут быть сохранены в памяти программно-регистрирующего комплекса в качестве эталонных. В дальнейшем при ведении очистных работ эталонные величины сравниваются с актуальными значениями, и при снижении удельных энергозатрат разрушения массива более чем на 25 % система сигнализирует о возможном возникновении ГДЯ [1, 5].

Программно-регистрирующий комплекс ВАТУР обеспечивает создание и хранение массивов данных, содержащих информацию о достаточно длительных периодах работы проходческо-очистного комбайна, позволяет осуществлять контроль режимных параметров, определять техническую производительность и наработку комбайна. Результаты анализа ваттметрограмм характеризуют ритмичность технологических процессов добычи и транспортирования полезного ископаемого в очистной камере, позволяют оценить уровень организации работ и степень загруженности оборудования, обеспечить выявление негативных тенденций и факторов, влияющих на производительность механизированного комплекса. При возникновении аварийных ситуаций ваттметрограмма

является документом, позволяющим судить о причинах аварии и действиях персонала [8].

Спектральный анализ сигналов токов, полученных посредством измерительного программно-регистрирующего комплекса ВАТУР, позволяет выявить частотные составляющие от 0 до 100 Гц, характеризующие колебания кинематической цепи исполнительный орган – редуктор – приводной двигатель. Дефекты рабочих узлов и механических передач обуславливают 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 добычной машины и, при необходимости, осуществлять ремонтные работы, направленные на предупреждение аварийных отказов [9, 10].

Таким образом, использование средств регистрации параметров работы добычных комбайнов, обеспечивающих непрерывный контроль энергетических показателей процесса разрушения калийного массива, позволяет наиболее просто осуществлять текущий прогноз ГДЯ и выявление выбросоопасных зон в призабойном пространстве, что обуславливает повышение безопасности ведения очистных и проходческих работ на калийных рудниках. Предложенная концепция программно-измерительного комплекса может быть использована при разработке бортовых регистраторов параметров проходческо-очистных комбайнов калийных рудников.

Принято к публикации 13.02.2016

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лаптев Б. В. Предотвращение газодинамических явлений на калийных рудниках. М.: Недра, 1994. 138 с.
2. Precht H. Methoden zur Bekämpfung mechanischer Zerstörungen bei schweren Gasausbrüchen im Kalibergbau. Freiberg: Forschung, 1991. 183 s.
3. Stolle E. Gasvorkommen in Kalibergwerken des Sudhazgebites // Bergbautechnik. 1994. № 1. S. 46–52.
4. Земсков А. Н., Кондрашев П. И., Травникова Л. Г. Природные газы калийных месторождений и методы борьбы с ними. Пермь: ПГТУ, 2008. 414 с.
5. Способ текущего прогноза выбросоопасных зон массива горных пород: пат. СССР 1458571, МПК E21C 41/04 / Лаптев Б. В., Бей М. М.; патентообладатель – Уральский филиал всесоюзного научно-исследовательского и проектного Института галургии. Заявл. 03.11.1986; опублик. 15.02.89. Бюл. № 6.
6. Чекмасов Н. В., Шишляников Д. И., Трифанов М. Г. Оценка эффективности процесса разрушения калийного массива резцами исполнительных органов

комбайнов «УРАЛ-20Р» // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. № 6. С. 103–107.

7. Шишлянников Д. И. Повышение эффективности эксплуатации проходческо-очистных комбайнов «УРАЛ» на основе анализа записей регистраторов параметров // Проблемы разработки углеводородных и рудных полезных ископаемых. 2014. № 1. С. 535–538.

8. Иванов С. Л. Повышение ресурса трансмиссий горных машин на основе оценки энергонагруженности их элементов. СПб.: СПбГИ, 1999. 92 с.

9. Исследование нагруженности и возможности прогнозирования энергоресурса приводов исполнительных органов комбайна «УРАЛ-20Р» / Г. Д. Трифанов [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 2. С. 41–44.

10. Методика диагностирования механизмов с электроприводом по потребляемому току / А. В. Барков [и др.]. СПб.: Севзапучцентр, 2012. 68 с.

#### REFERENCES

1. Laptev B. V. 1994, *Predotvrashchenie gazodinamicheskikh yavleniy na kaliynykh rudnikakh* [Prevention of gas-dynamic phenomena in the potash mines], 138 p.

2. Precht H. 1991, Methoden zur Bekämpfung mechanischer Zerstörungen bei schweren Gasausbrüchen im Kalibergbau. Freiberg: Forschung. 183 s.

3. Stolle E. 1994, Gasvorkommen in Kalibergwerken des Sudhazgebirges // *Bergbautechnik*, no. 1, s. 46–52.

4. Zemskov A. N., Kondrashev P. I., Travnikova L. G. 2008, *Prirodnyye gazy kaliynykh mestorozhdeniy i metody bor'by s nimi* [Natural gas in potash deposits and methods of dealing with them], 414 p.

5. Laptev B. V., Dey M. M. 1989, *Sposob tekushchego prognoza vybrosopasnykh zon massiva gornykh porod* [The

method of the current forecasting of outburst zones of rock mass: patent 1458571 USSR]: Patent USSR, no. 1458571.

6. Chekmasov N. V., Shishlyannikov D. I., Trifanov M. G. 2013, Otsenka effektivnosti protsessy razrusheniya kaliynogo massiva rezhkami ispolnitel'nykh organov kombaynov «URAL-20R» [Evaluating the effectiveness of the process of destruction in potash massifs by cutters of working parts of combine “Ural-20R”]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Gornyy zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, no. 6. pp. 103–107.

7. Shishlyannikov D. I. 2014, Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii prokhodchesko-ochistnykh kombaynov «Ural» na osnove analiza zapisey registratorov parametrov [Increase of operational efficiency shaft-sinking cleansing combines “Ural”, based on the analysis of records of parameters recorders]. *Problemy razrabotki uglevodorodnykh i rudnykh poleznykh iskopaemykh* [Problems of development of hydrocarbon and ore minerals], no. 1, pp. 535–538.

8. Ivanov S. L. 1999, *Povyshenie resursa transmissiy gornykh mashin na osnove otsenki energonagruzhennosti ikh elementov* [Increase of the resource of transmissions of mining machines based on the assessment of energy loading of their elements], 92 p.

9. Trifanov G. D. 2013, Issledovanie nagruzhennosti i vozmozhnosti prognozirovaniya energoresursa privodov ispolnitel'nykh organov kombayna “URAL-20R” [Study of loading and the ability to forecast energy resource of drives of working parts of of combine “Ural-20R”]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], no. 2. pp. 41–44.

10. Barkov A. V., Barkova N. A., Borisov A. A. and others. 2012, *Metodika diagnostirovaniya mekhanizmov s elektroprivodom po potrebyaemому toku* [Methods of diagnosing of mechanisms with electromotive by current consumption], 68 p.

**Дмитрий Игоревич Шишлянников**,  
кандидат технических наук, доцент  
4varjag@mail.ru  
Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет,  
Россия, Пермь, Комсомольский пр., 29

**Dmitriy Igorevich Shishlyannikov**,  
PhD, Associate Professor  
4varjag@mail.ru  
Perm National Research  
Polytechnic University,  
Perm, Russia