

Андреева Людмила Ивановна, доктор техн. наук, гл. науч. сотрудник

Челябинский филиал ИГД УрО РАН,

E-mail: tehnoem74@list.ru

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО СРОКА ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ



### Информация о статье

Поступила:

13 ноября 2021 г.

Рецензирование:

30 ноября 2021 г.

Принята к печати:

03 декабря 2021 г.

### Ключевые слова:

техническое состояние, работоспособность, мониторинг, вибродиагностика, дефект, экономически целесообразный срок обслуживания, профилактическое обслуживание, тепловой контроль.

### Аннотация.

Рассмотрены вопросы мониторинга технического состояния горной техники в сложившейся системе технического обслуживания и ремонта. Приведены методы контроля, позволяющие с большей долей вероятности прогнозировать место возникновения дефекта, его тип и критичность. Предложен методический подход к определению экономически целесообразного срока эксплуатации техники по критериям: доходность, то есть объем работ (тыс. м<sup>3</sup>, тыс. т и т.д.) и стоимость ее обслуживания. Статья выполнена в рамках госзадания №075-00581-19-00. Тема № 0405-2019-0005. Тема 1. Методы учета переходных процессов технологического развития при освоении глубокозалегающих сложно-структурных месторождений полезных ископаемых.

**Для цитирования:** Андреева Л.И. Методический подход к оценке состояния горной техники и целесообразного срока ее эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика – 2021. – № 6 (158). – С. 38-43 – DOI: 10.26730/1816-4528-2021-6-38-43

### Актуальность

Современная горная техника относится к классу машин с регламентируемой дисциплиной технического обслуживания и контроля состояния с определенной периодичностью. Объем технического обслуживания характеризуется конструктивными особенностями и количеством зон осмотра. Конкретная горная машина состоит из множества взаимосвязанных узлов, агрегатов и сборочных единиц, имеющих разный ресурс, степень надежности и износостойкости. Техническая готовность и, соответственно, производительность зависят от надежности всех входящих в нее компонентов, и отказ любой детали влечет за собой экономические потери, связанные с тяжестью последствий и времени внепланового простоя. Стоимость ремонта, например, экскаваторов за период эксплуатации 10-15 лет превышает затраты на изготовление в 8-10 раз при ежегодном росте удельных затрат на 5-10% [1].

Необходимость увеличения производительности горного оборудования с сохранением максимально возможного в условиях предприятия уровня безотказности и снижения себестоимости добычи полезного ископаемого требует совершенствования системы технической эксплуатации

горного оборудования. Ее эффективность должна определяться организацией системы технического обслуживания (ТО) и ремонта, производственно-технической базой, условиями и режимом эксплуатации, системой материально-технического снабжения. Однако для более полного учета факторов необходимо этот вопрос рассмотреть с позиции «Какая стратегия это обеспечит?»

Основным фактором повышения эффективности технической эксплуатации оборудования является переход к такой организации системы обслуживания, которая определяет рациональную стратегию поддержания и восстановления работоспособности горного оборудования, а также предусматривает соответствующее техническое и нормативно-технологическое обеспечение ремонтной службы.

В настоящее время система ТО и ремонта горно-транспортного оборудования низкоэффективная и имеет ряд недостатков:

- ремонтно-регулирующим работам подвергаются механизмы, находящиеся в удовлетворительном состоянии;
- развивающийся в период эксплуатации дефект обнаруживается и устраняется только во время проведения регламентированных работ;

- длительные простои оборудования в регламентированных ремонтах;
- неизбежны аварийные отказы в промежутках между регламентированным обслуживанием.

Это приводит к большим эксплуатационным издержкам:

- снижению эксплуатационного ресурса машин и механизмов;
- увеличению трудовых и материальных затрат в результате несвоевременности проведения восстановительных работ и несоответствия их объема и содержания фактическому состоянию оборудования.

Для поддержания горнотранспортного оборудования в исправном состоянии и перехода к техническому обслуживанию и ремонту оборудования заблаговременно большое значение имеет организация мониторинга технического состояния ГТО. Реализация программ мониторинга ГТО заключается в определении рационального баланса выполнения объемов планово-предупредительных ремонтов и профилактического обслуживания. Мониторинг эффективен, если обеспечивает постоянное предоставление информации о состоянии ГТО, равномерной и обоснованной загрузке ремонтного персонала, внезапном отказе горных машин и, соответственно, о снижении эксплуатационных затрат.

Опыт некоторых угледобывающих предприятий, где частично реализуется программа мониторинга технического состояния ГТО, свидетельствует, что первым этапом ее реализации должно стать формирование эффективного подразделения, предназначенного для выполнения функций, необходимых для обеспечения требуемого технического состояния ГТО. В функции этого подразделения должны входить планирование периодичности и объемов ремонтных воздействий, материальных и трудовых ресурсов, проведение работ по анализу отказов, контроль проведения ремонтных работ и подготовка квалифицированных кадров [1, 2].

Основными задачами подразделения по обеспечению надежности ГТО должны стать:

- проведение мониторинга, в частности, виброобследований оборудования;
- обеспечение группы планирования ремонта своевременными сведениями о фактическом состоянии оборудования с целью исключения любых внеплановых остановок;
- ведение учета оборудования, в том числе подготовка сведений о простоях оборудования, фактическом техническом состоянии оборудования, проведенном ремонте, результатах функционально-стоимостного анализа и др.;
- контроль выполнения работ и отслеживание затрат на ремонт;
- оценку тенденций изменения межремонтного интервала и ресурса оборудования для возможной модернизации или замены техники и ведения паспортов агрегатов.

По данным института угля и углехимии СО РАН, в течение пяти лет на угольных разрезах Кузбасса было проведено более 300 диагностических обследований

главных приводов экскаваторов циклического действия, в том числе проведено более 30 экспертных обследований экскаваторов с истекшим сроком эксплуатации. Был охвачен практически весь спектр применяемых на добычных и вскрышных работах экскаваторов: ЭКГ-6,3у; ЭКГ-6,3ус; ЭКГ-8И; ЭКГ-8у; ЭКГ-8ус; ЭКГ-10; ЭКГ-12,5; ЭШ-10/70; ЭШ-13/50; ЭШ-15/90А; ЭШ-20/90; RH-120С.

### Результаты исследования

На рис. 1 приведены результаты обследований, характеризующие фактическое техническое состояние экскаваторного парка, полученные при их первичной ревизии.

На ЗАО «Черниговец» был применен вибродиагностический метод преимущественно для контроля состояния агрегатов с вращающимися частями (электродвигатели, редукторы, барабаны, муфты, валы и др.). Измерение виброускорений (помимо виброскоростей в трех плоскостях) опор станины крепления электромашины выявило полную картину возможных дефектов: нарушение баланса (дисбаланс) всего агрегата, локальные дефекты подшипниковых узлов, муфт и тормозов [3, 4].

Рациональное соотношение объемов плановых ремонтов и профилактического обслуживания сни-

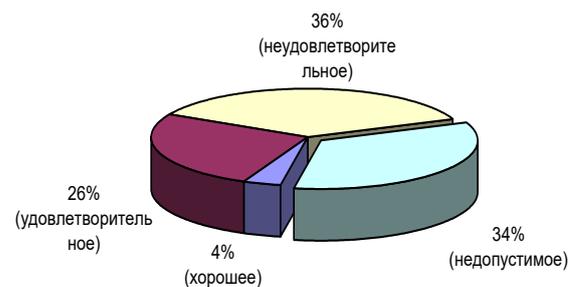


Рис. 1. Результаты оценки технического состояния экскаваторов по данным первичных вибродиагностических обследований

Fig. 1. The results of assessing the technical condition of excavators according to the data of primary vibration-diagnostic examinations

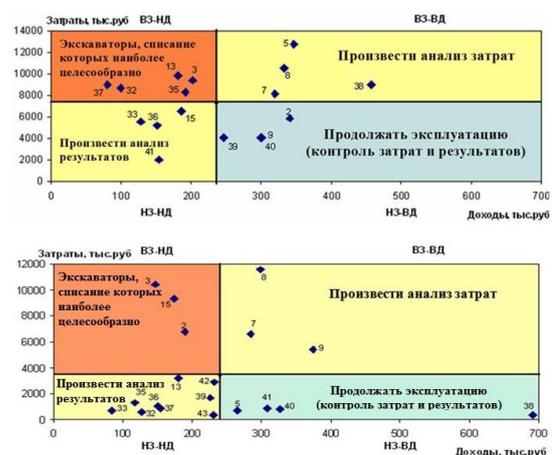


Рис. 2. Распределение экскаваторов по соотношению «доходы-затраты» за 2017-2018 гг.

Fig. 2. Distribution of excavators by income-cost ratio for 2017-2018

зило количество аварийных простоев на 12%, а их

продолжительность на 15%. В результате затраты на ремонт электромашин экскаваторов сократили на 875,0 тыс. рублей.

Исходя из условий эксплуатации горной техники и возможности проведения теплового контроля особое внимание было уделено преобразовательным агрегатам экскаваторов (асинхронный двигатель – генератор), редукторам подъема и поворота и ходовому модулю.

На ряде экскаваторов тепловое поле свидетельствовало о высоком износе узлов или неправильном режиме их эксплуатации (см. таблицу).

Из анализа полученных термограмм в основном были зарегистрированы дефекты «развивающиеся» и «критические», ресурс которых был уже значительно снижен.

Снижение ресурса деталей горной машины, как правило, вызывает необходимость их замены либо ремонта. От сроков их службы зависят сроки службы техники в целом и, соответственно, затраты на ее ремонтное обслуживание.

Быстрый (интенсивный) износ узлов и деталей горной техники обусловлен в значительной мере тяжелыми условиями их работы (запыленность, наличие влаги и коррозионных реагентов), а также отсутствием должного профилактического обслуживания. Это влечет за собой определенные экономические последствия, т.е. снижается эффективность использования средств труда, что значительно увеличивает эксплуатационные расходы задолго до того, как техника утрачивает свою эксплуатационную пригодность.

Как определить экономически целесообразный срок службы машины? Если исходить из морального износа, то срок службы достаточно измерять в календарном времени, но время эксплуатации одних и тех же машин значительно отличаются. Можно принять во внимание часы работы техники или километры пробега и т.д., но, тем не менее, это не снижает задачи определения экономической целесообразности дальнейшей эксплуатации каждой группы машин [5, 6].

Поэтому в условиях возрастания различий в степени надежности эксплуатируемой горной техники, ценности ресурсов и разнообразия стратегий собственников горнодобывающих предприятий целесообразен дифференцированный подход к ремонтному обслуживанию горной техники с учетом его фактического технического состояния, наработки (тыс. м<sup>3</sup>, тыс. т и т.д.) и ресурсных возможностей предприятия [7, 8].

Эти факторы определяют выбор технической политики предприятия в отношении формирования и использования парка горнотранспортного оборудования, основанной на реализации двух стратегий: развитие ремонтной базы для поддержания необходимого уровня работоспособности оборудования и (или) сокращение сроков эксплуатации оборудования и его ускоренное обновление [9].

Оценка состояния основного горнотранспортного оборудования по сроку амортизации (согласно бухгалтерскому учету) не всегда характеризует его

реальное техническое состояние и возможности (ресурс). Поэтому рекомендуется использовать подход, основанный на определении зависимости ее доходности (т.е. V добытого полезного ископаемого) и стоимости ремонтного обслуживания. Применение такого метода позволит учитывать эффективность использования средств, вложенных в обеспечение работоспособности оборудования. При накоплении достаточной базы данных появляется возможность с необходимой точностью определять предельный срок эксплуатации, при котором финансовые вложения в обеспечение работоспособности оборудования уже не эффективны (рис. 2) [10].

Расчет производится в следующей последовательности:

1. Определяется стоимость одного машино-часа (С) работоспособного состояния горной техники.
2. Рассчитывается доход, полученный за время ее нахождения в работоспособном состоянии (Д).
3. Рассчитываются затраты (З) нарастающим итогом по каждой единице техники.
4. По соотношению доходности и затратам горную технику распределяют в 4 группы (рис. 1):
  - высокодоходные (можно продолжать эксплуатацию);
  - доходные (нужно произвести анализ затрат);
  - убыточные (необходимо произвести анализ результатов);
  - особо убыточные (целесообразно списание).

Для принятия решения о списании техники рассматриваемый период анализа должен составлять 2-3 года.

Потребность в замене горнотранспортного оборудования возникает тогда, когда его техническое состояние и эксплуатационные затраты превысят «допустимый порог» и становится более выгодно покупать новое оборудование.

«Допустимый порог» определяется на основании оценки экономической эффективности эксплуатации, под которым понимается разница затрат при применении нового и уже эксплуатируемого оборудования.

#### **Выводы**

Преимущества и результаты, полученные при использовании предложенного метода определения оптимального, экономически целесообразного срока эксплуатации горной техники, обеспечивают значительное повышение надежности его эксплуатации, увеличение времени производительного использования и экономию ресурсов, а также позволяют определить:

- процентное соотношение оборудования в исправном, допустимом и предельном (аварийном) состояниях;
- количество машин, своевременно выведенных из эксплуатации с подтвержденными при исследовании дефектами;
- затраты на техническое обслуживание, отнесенные к себестоимости продукции;

Таблица. Дефекты узлов экскаваторов  
Table. Defects of excavator assemblies

№ п/п	Марка экскава- тора	Тип дефекта (краткое описание)		
		развивающийся	значительный	критический
	ЭКГ-8И № 1	Износ подшипников синхронного двигателя преобразовательного агрегата. Недопустимый износ тормозных дисков лебедки подъема		Вибрация и повышенная температура левого опорного подшипника синхронного двигателя преобразовательного агрегата (температура 68.4 °C);
	ЭКГ-8И (навешен ковш 10м <sup>3</sup> ) №4	Износ подшипников синхронного двигателя преобразовательного агрегата. Недопустимый износ опорных катков механизма хода		Вибрация и повышенная температура левого опорного подшипника синхронного двигателя преобразовательного агрегата (температура 51.4 °C);
	ЭКГ-8И (навешен ковш 10м <sup>3</sup> ) №16	Недопустимый износ опорных катков (справа) гусеничной тележки механизма хода. Дефект стакана центральной цапфы		Вибрация и повышенная температура левого опорного подшипника синхронного двигателя преобразовательного агрегата (температура 42.9 °C);
	ЭКГ-10 №8	Недопустимый износ опорных катков левой гусеничной тележки механизма хода	Тепловое поле в норме	
	CAT 385 CFS №34 (бутобой)	Недопустимый износ креплений гусеничных звеньев и абразивный износ опорных катков. Изменение теплового поля силовой части экскаватора вследствие высокой вибрации рабочего органа	Повышенная температура (10,8-11,5 <sup>0</sup> C) гусеничных звеньев и катков механизма хода	
	CAT 385 CL №35	Изменение теплового поля силовой части экскаватора вследствие нарушения его установки в забое		Изменение теплового поля металлоконструкции нижней рамы – повышенная температура металлоконструкции 24,3 <sup>0</sup> C
	BUSYRUS RH 120 E №39	Изменение теплового поля гусеничного полотна	Повышенная температура ведущих колес (9,9-10,1 <sup>0</sup> C) механизма хода	Повышенная температура (39,1 <sup>0</sup> C) цилиндров рабочего оборудования
	BUSYRUS RH 120 E №40	Изменение теплового поля гусеничного полотна	Повышенная температура (14,3 <sup>0</sup> C) натяжного колеса (справа) механизма хода	Повышенная температура (44,9 <sup>0</sup> C) цилиндров рабочего оборудования
	BUSYRUS RH 120 E №41	Изменение теплового поля гусеничного полотна (10 <sup>0</sup> C). Изменение теплового поля натяжного колеса справа (12,9 <sup>0</sup> C)		Повышенная температура (47 <sup>0</sup> C) правого цилиндра подъема стрелы
	CAT 6030 №42	Изменение теплового поля натяжного колеса справа (16 <sup>0</sup> C)		Изменение теплового поля гидроцилиндров подъема стрелы (10,6-10,7 <sup>0</sup> C)
	ЭКГ-8И (навешен ковш 10м <sup>3</sup> ) №3	Изменение теплового поля напорной оси (установка седлового подшипника)	Изменение теплового поля металлоконструкций нижней секции стрелы	Изменение теплового поля металлоконструкций узлов и приводов экскаватора

- среднемесячные (среднегодовые) эксплуатационные затраты на ремонт;
- процент времени использования оборудования по отношению к общему календарному времени.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева Л.И. Методология формирования технического сервиса горно-транспортного оборудования на угледобывающем предприятии: дис. докт. техн. наук / Л.И. Андреева. – Екатеринбург, 2004. – 274 с.
2. Андреева Л.И., Лапаева О.А. «К вопросу определения периодичности замены основного горно-транспортного оборудования карьера // «Горное оборудование и электромеханика». – 2009. - №6. – С. 27-30.
3. Андреева Л.И., Коростылев В.А., Хан К.О. Оценка технического состояния экскаваторов для дальнейшей эксплуатации // «Горное оборудование и электромеханика». 2011. - №6. – С. 12-16.
4. Иванов В.А., Феценко А.А. Особенности подходов к техническому обслуживанию и ремонту технологического оборудования в непрерывном производстве // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение. – 2018. – Том 20. – №3. С. 82-87.
5. Росляков С.В., Алексеенко В.Б., Соков Е.Н., Хакиньянов В.А., Хажиев В.А.. О развитии системы обеспечения работоспособности экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Издательство «Горная книга». – 2017. – Спецвыпуск №38. – С. 421-425.

6. Довженок А.С., Алексеенко В.Б., Хажиев В.А., Байкин В.С. Результаты мониторинга организации процесса эксплуатации карьерных автосамосвалов на разрезе «Черногорский» // Наука и бизнес: пути развития. – 2020, – №7. – С. 21-24.

7. Алексеенко В.Б., Корнилов С.В., Хажиев В.А., Байкин В.С. Декомпозиция целей и задач горного предприятия как средство совершенствования организационной структуры его подразделений // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – №7. – С. 18-21.

8. Зубарев С.Ф., Хажиев В.А., Байкин В.С., Габбасов Б.Н. Значение сбалансированности экономических интересов работников в вопросах повышения производительности оборудования горнодобывающего предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Издание «Горная книга». – 2019. – Спецвыпуск №49. – С. 16-22.

9. Федоров А.В. и др. Результаты реализации программ совершенствования производства в подразделениях угледобывающего предприятия: Отдельная статья горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) / А.В. Федоров, А.В. Великосельский, В.А. Маврин, А.А. Дорошенко, А.И. Буйницкий, Е.М. Евтушенко, А.В. Константинов, Ю.А. Килин, А.М. Макаров, М.Н. Полещук. – М.: Издательство «Горная книга», 2012. – 33 с. (Сер. «Б-ка горного инженера-руководителя». Вып. 20.

10. Федоров А.В. и др. Опыт совершенствования системы учета результатов работы машинистов экскаваторов в ОАО «Разрез Тугнуйский» / А.В. Федоров // С.В. Самарин, В.Н. Кулецкий, С.Н. Каширина, А.Б. Рыбинский, М.В. Томашевская // Уголь. – 2011. – №3 (1019). – С. 55-57.

DOI: 10.26730/1816-4528-2021-6-38-43

**Lyudmila I. Andreeva**, Dr. Sc. in Engineering, Senior Research Associate,

Chelyabinsk branch of the Mining Institute of the Ural Federal District of RAS, Chelyabinsk,

E-mail: tehnoem74@list.ru

## METHODOLOGICAL APPROACH TO EVALUATING THE CONDITION OF MINING MACHINES AND THE PRACTICAL PERIOD OF ITS OPERATION



### Article info

Received:

13 November 2021

Revised:

30 November 2021

Accepted:

03 December 2021

**Keywords:** technical condition, workability, monitoring,

### Abstract.

*This paper considers the issues of monitoring the technical condition of mining machines in the existing system of maintenance and repair. We describe the methods of control, which allow to highly likely forecast the place of the defect appearance, its type and criticality. Also we suggest the methodological approach to determining the economically practical period of operation according to the following criteria: profitability, i.e., the scope of works (thousands m<sup>3</sup>, thousands ton, etc.) and the cost of their maintenance.*

*vibration-based diagnostics, defect, economically practical period of maintenance, preventive maintenance, thermal control.*

**For citation** Andreeva L.I. Methodological approach to evaluating the condition of mining machines and the practical period of its operation. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2021, no.6 (158), pp. 38-43. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-6-38-43

#### REFERENCES

1. Andreeva L.I. Metodologiya formirovaniya tekhnicheskogo servisa gorno-transportnogo oborudovaniya na ugledobyvayushchem predpriyatii: dis. dokt. tekhn. nauk / L.I. Andreeva. – Ekaterinburg, 2004. – 274 s.

2. Andreeva L.I., Lapaeva O.A. «K voprosu opredeleniya periodichnosti zameny osnovnogo gorno-transportnogo oborudovaniya kar'era // «Gornoe oborudovanie i elektromekhanika». – 2009. - №6. – S. 27-30.

3. Andreeva L.I., Korostylyov V.A., Han K.O. Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya ekskavatorov dlya dal'nejshej eksploatatsii // «Gornoe oborudovanie i elektromekhanika». 2011. - №6. – S. 12-16.

4. Ivanov V.A., Feshchenko A.A. Osobennosti podhodov k tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu tekhnologicheskogo oborudovaniya v nepreryvnom proizvodstve // Vestnik permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie. – 2018. – Tom 20. – №3. S. 82-87.

5. Roslyakov S.V., Alekseenko V.B., Sokov E.N., Hakin'yanov V.A., Hazhiev V.A.. O razvitii sistemy obespecheniya rabotosposobnosti ekskavatorov // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. – M.: Izdatel'stvo «Gornaya kniga». – 2017. – Specvypusk №38. – S. 421-425.

6. Dovzhenok A.S., Alekseenko V.B., Hazhiev V.A., Bajkin V.S. Rezul'taty monitoringa organizatsii procesa eksploatatsii kar'ernyh avtosamosvalov na razreze

«CHernogorskiy» // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2020, – №7. – S. 21-24.

7. Alekseenko V.B., Kornilov S.V., Hazhiev V.A., Bajkin V.S. Dekompozitsiya celej i zadach gornogo pred-priyatiya kak sredstvo sovershenstvovaniya organizacionnoj struktury ego podrazdelenij // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2020. – №7. – S. 18-21.

8. Zubarev S.F., Hazhiev V.A., Bajkin V.S., Gabbasov B.N. Znachenie sbalansirovannosti ekonomicheskikh in-teresov rabotnikov v voprosah povysheniya proizvoditel'nosti oborudovaniya gornodobyvayushchego predpriyatiya // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. – M.: Izdanie «Gornaya kniga». – 2019. – Specvypusk №49. – S. 16-22.

9. Fyodorov A.V. i dr. Rezul'taty realizatsii programm sovershenstvovaniya proizvodstva v podrazdeleniyah ugledobyvayushchego predpriyatiya: Otdel'naya stat'ya gornogo informacionno-analiticheskogo byulletenya (nauchno-tekhnicheskogo zhurnala) / A.V. Fyodorov, A.V. Veliksel'skij, V.A. Mavrin, A.A. Doroshenko, A.I. Bujnickij, E.M. Evtushenko, A.V. Konstantinov, YU.A. Kilin, A.M. Makarov, M.N. Poleschuk. – M.: Izdatel'stvo «Gornaya kniga», 2012. – 33 s. (Ser. «B-ka gornogo inzhenera-rukovoditelya»). Vyp. 20.

10. Fedorov A.V. i dr. Opyt sovershenstvovaniya sistemy uchyota rezul'tatov raboty mashinistov ekskavatorov v OAO «Razrez Tugnujskiy» / A.V. Fyodorov // S.V. Samarin, V.N. Kuleckij, S.N. Kashirina, A.B. Rybin-skiy, M.V. Tomashevskaya // Ugol'. – 2011. – №3 (1019). – S. 55-57.