



## РАЗРАБОТКИ

→ КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

### Тема статьи:

Внедрение современных стратегий управления отказами оборудования, таких как обслуживание по состоянию, весьма актуально и требует комплексной оценки технического состояния. В статье описана методика такой оценки применительно к очистному комплексу шахты. Она также применима при оценке состояния и других видов оборудования.

# КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ

**С.С. Кубрин,**

д.т.н., и.о. заведующего лабораторией Института проблем комплексного освоения недр РАН,

**А.И. Сукманов,**

ведущий специалист НПП «СпецТек»

Возможность управления отказами оборудования является в настоящее время одним из важнейших требований, предъявляемых к системам менеджмента основных средств предприятий. В этой сфере сформированы и за последние 30 лет стали общепризнанными концепции управления отказами, в числе которых наиболее известна концепция RCM (Reliability Centered Maintenance) [1, 2]. Её суть состоит в том, чтобы выбрать и реализовать применимую к данному оборудованию стратегию управления отказами, которая обеспечивала бы минимизацию возможных последствий отказов при заданных ресурсных и временных ограничениях.

В частности, стандарт SAE JA 1011:2009 [3] выделяет такие возможные стратегии (методы) управления отказами, как ремонт по факту отказа, плановое восстановление и замена, работы по состоянию, обнаружение отказов, разовые изменения, комбинация работ. Выбор той или иной стратегии должен быть обоснованным, он должен проводиться для каждого возможного вида отказа и исходить из тяжести его последствий, выбранная стратегия должна уменьшать (устранять) последствия отказа в такой степени, которая оправдывает прямые и не прямые затраты на её реализацию.

Однако если указанный авторитетный стандарт говорит об осознанном применении стратегии ремонта по отказу, т.е. о применении её там, где это возможно и целесообразно, то сказать то же самое о практике российских предприятий далеко не всегда возможно. В частности, в практике эксплуатации очистных комплексов шахт чаще всего находят применение ремонт

по отказу, а его использование никак не связано с такими понятиями, как «анализ», «осознанный выбор», «минимизация последствий».

По сути, развитие практики управления отказами на предприятиях подземной добычи угля находится на уровне 50-х годов XX века [4]. Ремонт по отказу, как правило, приводят к внеплановым простоям очистных комплексов, а плановое рабочее время тратится на устранение отказа. Каждый такой простой обходится предприятию миллионными потерями, причем аварийный характер отказа сам по себе делает ремонт более дорогостоящим и длительным. Аналогичные факты необоснованного применения стратегии ремонтов по отказу приводятся и по предприятиям открытых горных работ [5].

В этой связи актуальным является внедрение предупреждающих стратегий для управления теми отказами, которые имеют значимые последствия для безопасности, экологии и экономики предприятия. Упомянутый стандарт SAE JA 1011:2009 [3] для управления такими отказами рекомендует работы по состоянию. Перспективность работ по состоянию для снижения рисков и повышения эффективности горного оборудования подтверждается и в работах отечественных специалистов [5-7].

Под работами по состоянию следует понимать как работы по оценке технического состояния оборудования, так и последующий ремонт, решение о котором принимается на основе полученных оценок состояния. При этом оценку состояния не следует по-

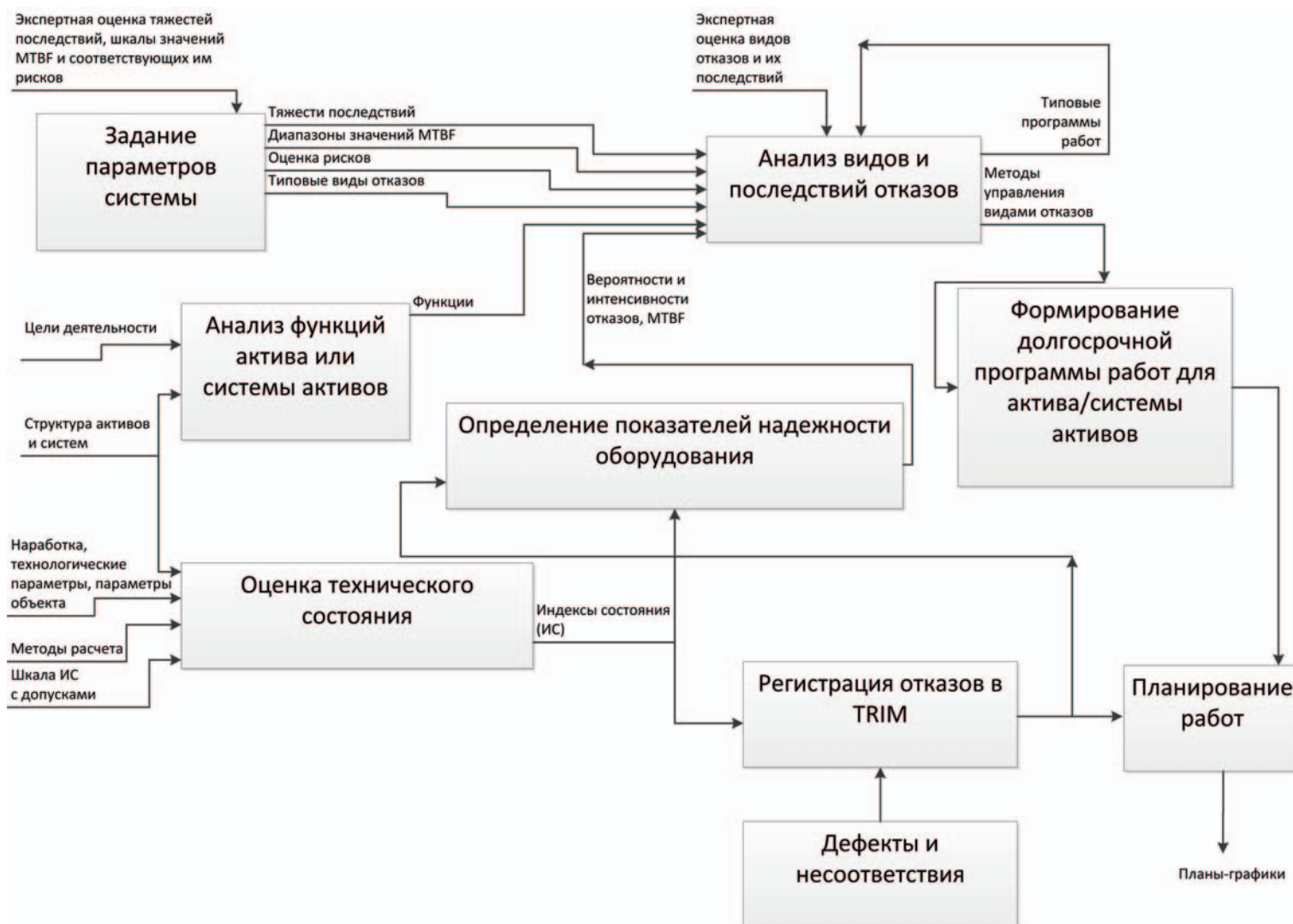


Рис. 1. Определение стратегий и оценка состояния

нимать в узком смысле и сводить ее к технической диагностике.

Основываясь на актуальности задачи внедрения современных стратегий управления отказами на основе оценки состояния оборудования, НПП «СпецТек» и Институт проблем комплексного освоения недр РАН (ИПКОН РАН) в 2011 году приступили к совместной работе по теме: «Создание технологии прогноза, оценки риска опасных природных и техногенных явлений при подземной разработке твердых полезных ископаемых и выработки технологических решений по их предотвращению на базе интеллектуальной системы поддержки принятия решений и комплексного синтезирующего мониторинга». Работа ведется на основании государственного контракта №16.525.12.5008, заключенного между ИПКОН РАН и Министерством образования и науки РФ. В рамках ОКР будет создана автоматизированная система поддержки принятия решений и комплексного синтезирующего мониторинга с подсистемой технического обслуживания, ремонта,

анализа и оценки технического состояния очистного комплекса (ТОРОС).

Назначение подсистемы ТОРОС – информационная поддержка принятия решений, направленных на снижение рисков отказов оборудования, составляющего очистной комплекс горнотехнической системы шахты. Подсистема должна предоставить ее пользователям интеллектуальные средства оценки, анализа и прогнозирования технического состояния оборудования по данным мониторинга его работы и расчета индексов состояния. На этой основе в подсистеме будет осуществляться выбор стратегий управления отказами, планирование и учет выполнения работ (рис. 1). Выбранные стратегии (методы) управления отказами будут определять долгосрочную программу работ, которая, в свою очередь, станет основой для формирования планов-графиков работ на заданный период (год, квартал и т. д.).

Создание подсистемы ТОРОС предполагает пять этапов, на текущий момент выполнены два из них –

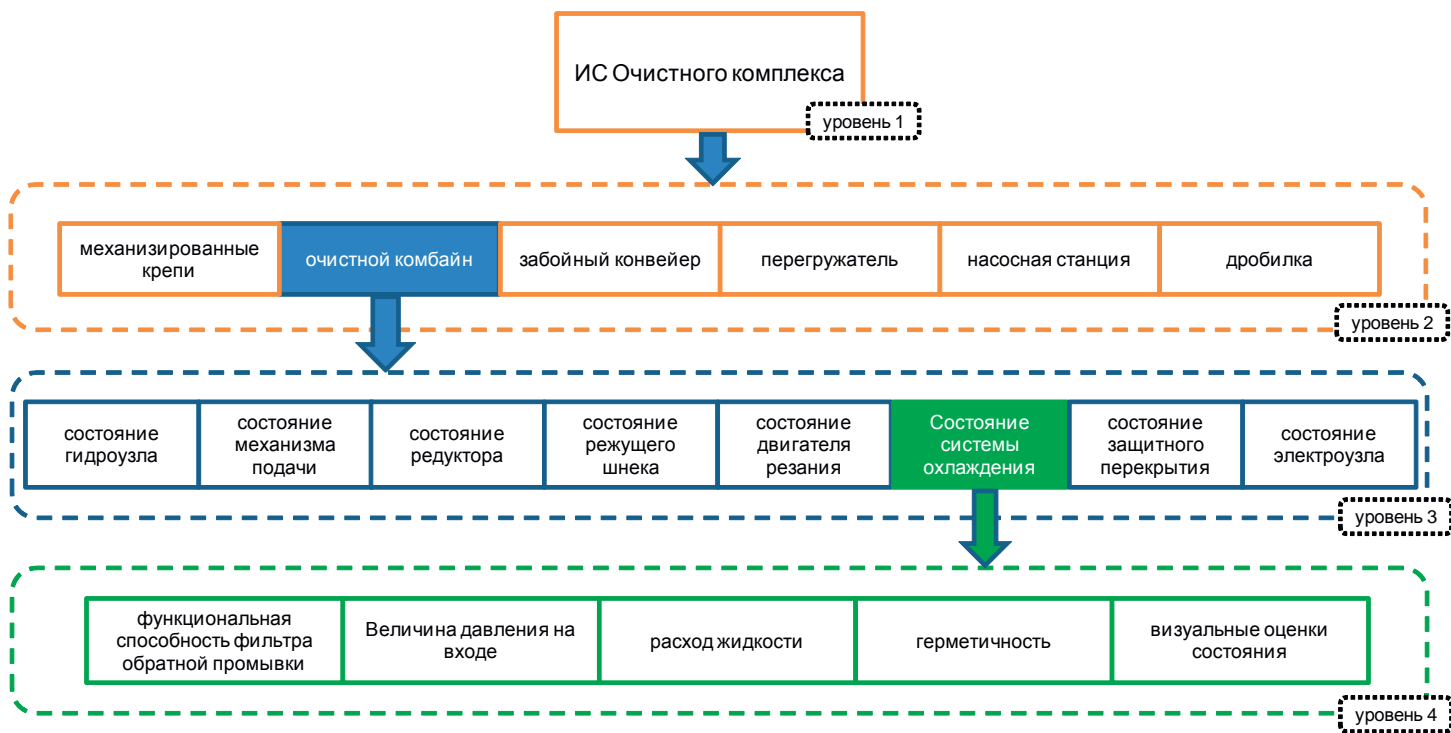


Рис. 2. Составляющие индекса состояния очистного комплекса

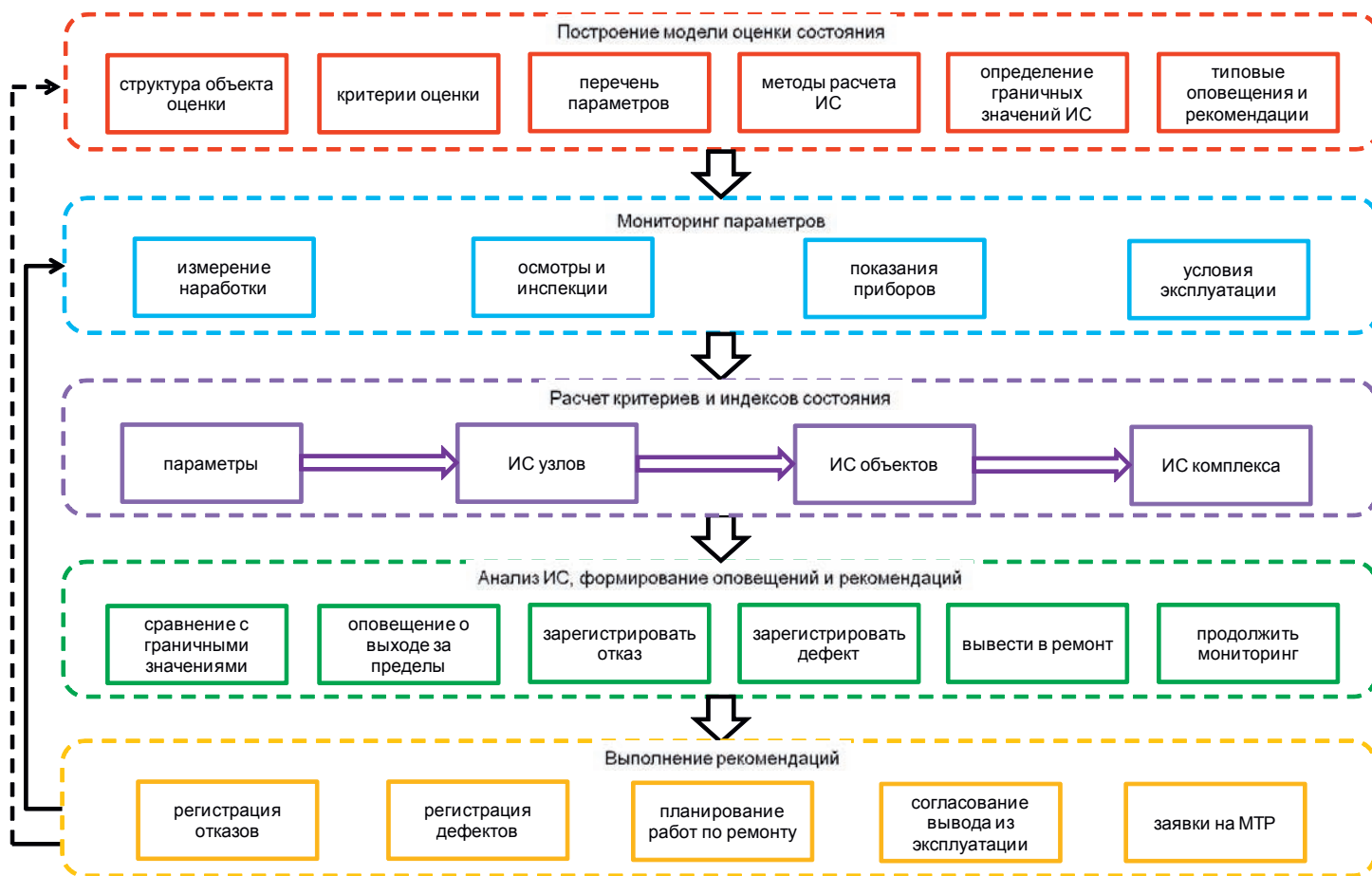


Рис. 3. Этапы оценки состояния

эскизный и технический проект. В рамках эскизного проекта определено, что программной платформой подсистемы ТОРОС станет комплекс TRIM – корпоративная информационная система класса EAM/MRO разработки НПП «СпецТек». В техническом проекте представлена методика оценки технического состояния очистного комплекса шахты, позволяющая определить следующее:

- находится ли оборудование в нормальном состоянии, не требующем какого-либо вмешательства;
- требуется ли дополнительное внимание со стороны персонала или улучшенный контроль параметров оборудования;
- необходимо ли выполнение дополнительных измерений, испытаний и других профилактических мероприятий;
- требуется ли проведение ремонтов, модернизации, облегчение режимов работы или вывод оборудования из эксплуатации.

Оценка состояния основывается на системе показателей, конфигурация которой связана со структурой оборудования. Для расчета этих показателей собираются, агрегируются в единой системе и используются разнородные данные – как объективного контроля (вибродиагностика и другие виды НК), так и результаты осмотров, инспекций, экспертных оценок состояния. На этой основе формируется комплексная оценка состояния, учитывающая влияние разнородных параметров и различных структурных единиц на оборудование в целом.

Оценкой технического состояния оборудования является безразмерная числовая величина, получаемая в результате выполнения определенного алгоритма. Эта числовая величина называется Индексом Состояния (ИС). Величина ИС характеризует состояние объекта с точки зрения соответствия его параметров нормативным значениям с учетом значимости (веса) каждого параметра.

На рис. 2 показаны составляющие ИС очистного комплекса. Индекс состояния верхнего уровня (уровень 1) определяется по совокупности ИС уровня 2. Для определения последних выделяются подсистемы, которые влияют на состояние очистного комплекса. В свою очередь, ИС второго уровня определяются по критериям (уровень 3), влияние которых на состояние каждой подсистемы учитывается весовыми коэффициентами. Критерии рассчитываются на основе параметров (уровень 4), с помощью которых оценивается состояние того или иного узла. Для расчета одного критерия может использоваться как один, так и несколько параметров.

Параметром является паспортная характеристика оборудования или характеристика, получаемая в результате диагностики или осмотра оборудования. Для того чтобы получить безразмерный ИС, значения критериев и параметров также должны быть безразмерными. С этой целью количественные и качественные значения параметров переводятся в целочисленные дискретные значения, которые отражают степень соответствия параметра его номиналу. Например, 5 – наилучшее соответствие номиналу, 1 – наихудшее.

Оценка состояния оборудования включает в себя несколько этапов (рис. 3):

- построение модели оценки состояния;
- мониторинг параметров;
- расчет критериев и индексов состояния;
- анализ ИС, формирование оповещений и рекомендаций;
- выполнение рекомендаций.

Построение модели включает в себя анализ структуры объекта оценки, выделение подсистем, определение критериев оценки и перечня параметров, определение метода расчета ИС, определение шкалы ИС с граничными значениями, разработку типовых оповещений и рекомендаций, соответствующих различным значениям ИС.

Шкала (интервал) ИС формируется на основании экспертных оценок и включает граничные значения для анализа ИС. В соответствии с этой шкалой (см. таблицу 1) определяется техническое состояние узла, единицы оборудования или всего комплекса и, соответственно, его надежность.

**Таблица 1. Соответствие значений шкалы ИС и состояний объекта**

Шкала ИС	Состояния объекта
100-71	Хорошее
70-51	Удовлетворительное
50-26	Неудовлетворительное
25-0	Непригодное

Для различных значений ИС, попадающих в тот или иной интервал, разрабатываются типовые оповещения и рекомендации, то есть определяются действия, которые необходимо выполнить.

Для расчета индекса состояния очистного комплекса в методике используется соотношение вычисления средневзвешенного значения по всем составляющим:

$$I_1 = \frac{\sum_i p_{2i} I_{2i}}{\sum_i p_{2i}},$$

$$I_2 = \frac{\sum_i p_{3i} I_{3i}}{\sum_i p_{3i}},$$

$$I_3 = \frac{\sum_i p_{4i} I_{4i}}{\sum_i p_{4i}},$$

где:

$I_1$  – ИС очистного комплекса,

$I_2$  – ИС объектов( подсистем) очистного комплекса,

$I_{2i}$  – ИС критериев( узлов),

$p_{2i}$  – вес индекса состояния- того объекта( подсистемы) очистного комплекса,

$p_{3i}$  – вес индекса состояния- того критерия( узла),

$p_{4i}$  – вес- того параметра,

$I_{2i}$  – ИС- того объекта( подсистемы) очистного комплекса,

$I_{3i}$  – ИС- того критерия( узла),

$I_{4i}$  – оценка( значение) i-того параметра.

Для нахождения значения ИС в конкретных случаях вместо указанных формул могут быть использованы следующие методы:

- по максимуму выбранного параметра\критерия,
- по минимуму выбранного параметра\критерия,
- по сумме параметров\критериев.

После того как модель оценки очистного комплекса построена, переходим к следующим этапам оценки состояния комплекса.

Как показано на рис. 3, далее проводится мониторинг параметров, которые были выбраны при построении модели оценки состояния. На основании данных мониторинга рассчитываются ИС комплекса, объектов и критериев.

Результатом расчета ИС очистного комплекса является определение его состояния в целом, а также определение того, какой из критериев влияет на состояние оборудования в большей степени. Таким образом, для того чтобы улучшить состояние всего оборудования может быть достаточно повлиять на один из его критериев, который имеет наихудшую оценку состояния.

Все рассчитанные ИС заносятся в общую базу данных для проведения анализа и выработки соответствующих мероприятий в зависимости от значения ИС.

После выполнения рекомендованных мероприятий продолжается мониторинг параметров и осуществляется перерасчет ИС. Повторный расчет ИС даст возможность понять, правильно ли осуществлен выбор:

- подсистем и критериев для оценки ИС очистного комплекса,
- перечня параметров,
- оповещений и рекомендаций,
- шкалы оценки ИС.

На этой основе возможен пересмотр используемой модели оценки состояния, её коррекция. Таким образом, согласно методике модель оценки состояния постоянно совершенствуется, что позволяет рассчитывать ИС с максимальной степенью достоверности.

Очевидно, что реализация методики требует обработки и анализа большого объема данных, что представляется невозможным без внедрения автоматизированной информационной системы. В этой связи система ТОРОС изначально проектируется как автоматизированная и информационная – на базе специального программного обеспечения TRIM, предназначенного для управления процессами эксплуатации, обслуживания и ремонта оборудования. В данный момент идет выполнение пилотного проекта внедрения такой автоматизированной информационной системы и представленной методики на шахте им. Кирова ОАО «СУЭК-Кузбасс».

## Литература

1. Nowlan F.S., Heap H.F. Reliability-centered Maintenance. San Francisco: Dolby Access Press, 1978. - 466 p.
2. Moubray J. Reliability-centered Maintenance. Second Edition. NY: Industrial Press Inc, 1997. - 426 p.
3. SAE JA 1011:2009 «Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes». Surface Vehicle / Aerospace Standard: Society of Automotive Engineers.
4. Антоненко И.Н. Эволюция практик и информационных систем управления ТОиР/ И.Н. Антоненко, И.Э. Крюков// Главный механик. - 2011. - №10.
5. Андреева Л.И. К вопросу об управлении риском эксплуатации оборудования промышленного предприятия/ Л.И. Андреева, Т.И. Красникова// Рудник будущего. - 2010. - №2. - с. 81-86.
6. Темченко А.А. Разработка теории и обоснование стратегий эксплуатации горно-обогатительного оборудования/ А.А. Темченко, Н.В. Кияновский, В.М. Темченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - №7. - с. 253-260.
7. Афанасьев Ю.А. Диагностические информационные технологии – основа безопасной эксплуатации горнотранспортного оборудования/ Ю.А. Афанасьев, Е.В. Кулешов// MEGATECH – Новые технологии в промышленной диагностике. - 2009. - №3. - с. 64-67. ✖