

**А. В. КИЗИМ**, канд. техн. наук, доц. ВолгГТУ, Волгоград, Россия;  
**Е. В. ЧИКОВ**, аспирант ВолгГТУ, Волгоград, Россия;  
**В. А. КАМАЕВ**, д-р. техн. наук, проф., ВолгГТУ, Волгоград, Россия;  
**С. В. ШЕВЧЕНКО**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА**

Розглядаються питання підвищення конкурентоспроможності підприємств за рахунок збільшення ефективності проведення робіт з технічного обслуговування і ремонту (ТОiP) устаткування. У статті наведені задачі обробки даних ТОiP устаткування класу Data Mining, обґрунтування критеріїв оцінки ефективності функціонування ремонтної служби, задачі групування обладнання по групах ремонтних робіт, основні стадії ітеративної організації системи ТОiP. Пропонується алгоритм функціонування служб ТОiP щодо запобігання відмов обладнання.

Рассматриваются вопросы повышения конкурентоспособности предприятий за счет увеличения эффективности проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОiP) оборудования. В статье приведены задачи обработки данных ТОiP оборудования класса Data Mining, обоснование критериев оценки эффективности функционирования ремонтной службы, задачи группировки оборудования по группам ремонтных работ, основные стадии итеративной организации системы ТОiP. Предлагается алгоритм функционирования служб ТОiP для предотвращения отказов оборудования.

The issues of improving the competitiveness of enterprises by increasing the efficiency of maintenance and repair (MRO) equipment. The paper presents the problem of data processing equipment maintenance and repair Class Data Mining, justification of the criteria for evaluating the performance of repair services, grouping tasks into groups of equipment repair work, the main stages of the iterative system maintenance and repair organizations, an algorithm for operation of MRO services for the prevention of equipment failures.

**Введение.** Любое предприятие для повышения прибыли вынуждено находить возможности оптимизировать распределение расходов по направлениям деятельности и производственной мощности. Прибыль предприятия зависит от эффективности работы его оборудования, которая описывается коэффициентом полной эффективности оборудования (КПЭО), являющимся согласно [1] произведением коэффициента готовности оборудования на показатели производительности и качества. Поэтому одним из направлений оптимизации производительности и расходов для промышленных предприятий является совершенствование технического обслуживания и ремонта (ТОiP) оборудования.

С целью повышения экономической эффективности работ ТОiP взамен традиционного подхода, основанного на планово-предупредительных работах (ППР), компании внедряют более современные методики проведения ТОiP оборудования [2–7]. В процессе поиска подходов к минимизации затрат на

ТОиР подход, заключающейся в уменьшении или расширении во времени ППР, показал себя не с лучшей стороны. Выросшее количество аварийных работ либо приводило уровень затрат к прежнему уровню, либо даже повышало его. Это связано с наличием зависимости между затратами на ТОиР и надежностью оборудования, которая является нелинейной. В процессе совершенствования подходов к проведению ТОиР от реактивного ремонта (аварийные ремонты оборудования по факту его отказов) исторически был осуществлен переход к преимущественно предупредительному обслуживанию (Preventive maintenance), которое можно разделить на следующие основные виды:

- плановое обслуживание (Planned maintenance), примером являются советские отраслевые регламентные методики системы ТОиР;
- обслуживание по состоянию (Condition-based maintenance);
- предупредительное обслуживание на основе прогнозных данных (Predictive maintenance).

Каждый из указанных подходов имеет свои достоинства и недостатки, и должен применяться согласно его условиям применения.

Согласно [5], критерием оценки эффективности функционирования ремонтной службы  $E_M$  можно считать сумму двух финансовых величин:

$$E_M = C_M + L_P, \quad (1)$$

где  $C_M$  – затраты на ремонтные бригады и запасные части, необходимые для выполнения ремонтных воздействий;  $L_P$  – производственные потери.

С одной стороны, низкий уровень ремонтных затрат  $C_M$  приводит к значительным потерям производства и увеличению общей суммы расходов, а с другой – высокие затраты снижают рентабельность производства. В [6] утверждается, что оптимум соответствует случаю, когда сумма потерь прибавочной стоимости и затрат на ремонты имеет минимальное значение.

Использование новых методик ТОиР становится лишь одним из условий эффективного управления производством вообще и организации ТОиР в частности. Необходимо иметь возможность мониторинга и анализа эффективности ТОиР с помощью показателей эффективности работы. Для понимания текущего уровня эффективности работ по ТОиР и направления дальнейшего их развития и совершенствования необходимо применять специальные метрики, например ключевые показатели эффективности, которые объединяются в сбалансированные системы показателей.

Как и в любой области, на эффективность процесса более сильно влияет применение системного подхода, чем применение частных решений. При применении системного подхода достигаются эффективные решения связанных задач, но и синергетический эффект. Путем применения научно обоснованной организации ТОиР возможно достижение следующих основных эффектов: уменьшение числа отказов, простоев и затрат на

эксплуатацию оборудования; увеличение срока службы и производительности оборудования.

При использовании системного подхода при организации ТОиР необходимо сформулировать иерархию целей, которые необходимы для достижения глобальных целей – повышение прибыльности, производительности и конкурентоспособности предприятия. На основании иерархии целей необходимо строить систему ключевых показателей эффективности (КПЭ), отражающих текущее положение и уровень достижения сформулированных целей.

Источником данных для построения КПЭ является понимание уровня эффективности работ по ТОиР оборудования на предприятии, что требует проведения анализа оценок эффективности работ. Оценка эффективности (ОЭ) работ выражается как в количественных (например, часов непрерывной работы, или up-time), так и в качественных показателях (например, % выполнения плана). В случае применения компанией практики постоянного совершенствования ТОиР необходимо определять не только ОЭ самих работ ТОиР, но и ОЭ действий по их улучшению, выражаемую в относительных показателях (например, насколько быстрее стали поводиться ремонтные работы, насколько увеличилось время up-time).

При использовании системного подхода к задаче увеличения эффективности ТОиР необходимо организовать непрерывный процесс оценки эффективности процесса ТОиР и адаптивное внесение изменений в процесс ТОиР для получения оптимального значения эффективности функционирования ремонтной службы *Em* и КПЭ.

В общем виде можно выделить следующие основные стадии итеративной организации системы ТОиР на основе КПЭ:

1. Разработка или усовершенствование системы КПЭ.
2. Проведение работ ТОиР оборудования.
3. Сбор данных и расчет показателей КПЭ.
4. Проведение оптимизации работ системы ТОиР оборудования.

Разработка системы КПЭ обычно ведется на основе библиотеки отраслевых показателей. Библиотеки КПЭ ТОиР являются ноу-хау компаний, которые принимают меры к их неразглашению. Можно выделить группы КПЭ ТОиР:

- КПЭ оборудования (объекта ТОиР);
- КПЭ субъектов ТОиР;
- КПЭ процесса ТОиР в целом и его элементов.

К первой группе относятся такие КПЭ как производительность оборудования, показатели надежности оборудования (наработка на отказ, параметры потока отказов и др.), up-time оборудования и другие.

Ко второй группе относятся такие КПЭ как: среднее время, затрачиваемое ремонтной бригадой на устранение отказа определенного вида и типа

оборудования; количество рабочих заданий со срывом сроков окончания и выполненное в срок.

В качестве примеров КПЭ третьей группы можно привести: качество планирования работ по длительности (оценки качества процессов планирования работ ТОиР в части календарных сроков); резерв рабочего времени оборудования (суммарное резервное время, в течение которого оборудование было исправным, но не использовалось по каким-либо причинам); затраты на подрядчиков в плановых рабочих заданиях (суммарные затраты на подрядчиков в плановых рабочих заданиях за отчетный период).

Одним из способов оптимизации затрат является сегментирование оборудования по группам и применение к различным группам разных подходов организации их ТОиР. В результате сформулирована задача группировки оборудования по группам ремонтных воздействий и выработка новых подходов к проведению ТОиР. Выделенная задача имеет решения, применимые при поддержке служб ТОиР, но не все из них обладают требуемой полнотой, что приводит к необходимости их доработки и согласования.

Выделены базовые характеристики КПЭ:

$$КПЭ_i = \{O, P, E, T, G, I\}, \quad (2)$$

где  $O$  – область применения (объект, субъект или процесс ТОиР);

$P$  – тип показателя (качественный, количественный);

$E$  – единицы измерения;

$T$  – тренд (максимизация, минимизация, постоянство);

$G$  – граничные значения;

$I$  – способ интерпретации.

Для расчета значений КПЭ требуются данные о происходящих событиях, связанных с характеристиками процесса ТОиР и состояния оборудования на предприятии, что приводит к необходимости организации автоматизированного процесса сбора и накопления таких данных. При этом требуется организация сбора информации на каждом этапе проведения работ по ТОиР, а так же особые формы и содержание данных, собранных в рамках работ ТОиР.

Для обработки и систематизации полученных данных целесообразно использовать ряд методик, входящих в состав задач общего подхода к обработке данных класса Data Mining, таких как:

- обнаружение аномальных данных;
- использование ассоциативных правил;
- анализ последовательностей;
- классификация;
- кластерный анализ;
- факторный анализ;
- регрессионный анализ;
- анализ структурных данных;

– деревья решений.

Общая схема организации системы ТОиР на основе КПЭ может быть выполнена в соответствии с приводимым ниже рисунком.

При возникновении отказа оборудования представляется целесообразным проводить действия по предотвращению подобных ситуаций впредь согласно следующему алгоритму:

1. Идентификация проблем, приводящих к возникновению отказа.
2. Анализ проблемы с целью выявления ее причин, типов отказов, возникающих от отказов эффектов, частоты, серьезности и типа отказов.
3. Поиск подходящих системных решений (выбор и адаптация известных методов решений или разработка новых).
4. Применение новых решений с измерением их эффективности и сопоставлением со старыми методами.

При этом могут применяться такие методы, способствующие предотвращению отказов оборудования, как методы RCA (корневой анализ причин отказов), FMECA (анализ видов, последствий и критичности отказов), анализ рисков [7] и др.

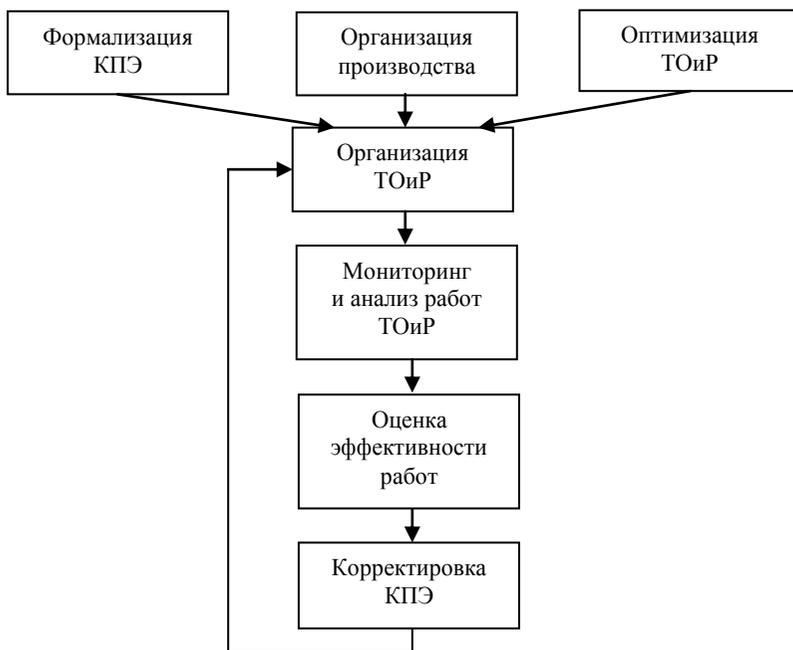


Схема организации системы ТОиР на основе КПЭ

Для более эффективного управления ТОиР необходимо применять разные подходы организации ТОиР к разным группам оборудования. Для сегментирования фонда оборудования по группам в соответствии с применяемым к его ТОиР подходом можно выделить ряд критериев оценки эксплуатационных свойств оборудования, например критичность оборудования (важность его постоянной работы), стоимость ремонта, сроки ТОиР и др.

Для сегментирования фонда оборудования и определения очередности выбора могут быть использованы ряд методов: RCM2, матрицы и векторы предпочтений; неметрический метод Парето [8].

**Выводы.** На основе системного подхода к задачам ТОиР, элементы которого отражены в данной статье, предложен комплекс методов и инструментов организации ТОиР, применение которого может снизить затраты на организацию и выполнение работ по ТОиР, повысить их эффективность, коэффициент использования оборудования и эффективность функционирования ремонтной службы. Полученные результаты могут быть использованы для широкого спектра предприятий различных отраслей.

**Список литературы:** 1. The Fast Guide to OEE™. Vorne Industries Inc. 2008. – Режим доступа: – [www.oee.com]. 2. Кизим А. В. О методологических аспектах решения задач программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта / А. В. Кизим, С. В. Шевченко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск „Системний аналіз, управління та інформаційні технології”. – Харків : НТУ „ХПІ”. – 2011. – № 35. – С. 56–61. 3. Кизим А. В. Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ. – 2009. Т. 6. – № 6. – С. 118–121. 4. Кизим А. В. Постановка и решение задач автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А. В. Кизим // Доклады ТУСУРа. – 2009. – № 2 (декабрь). – С. 131–135. 5. Levitt J. Handbook of Maintenance Management. Industrial Pr. 1997. – 476 p. 6. Ченцов Н. А. Организация, управление и автоматизация ремонтной службы: Учебник / Н. А. Ченцов; под ред. В. Я. Седуша. – Донецк, 2007. – 258 с. 7. National Aeronautical and Space Administration (NASA), Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment, 2008. 8. Мельник В.Ю. Поддержка принятия решения при формировании очереди работ с помощью средств автоматизации планирования технического обслуживания и ремонта оборудования / В. Ю. Мельник, А.В. Кизим, В. А. Камаев // Известия ВолгГТУ. Вып. 12, 2011. – № 11. – С. 107–110.

*Надійшла до редколегії 16.04.2012*