

ЭВОЛЮЦИЯ ПРАКТИК И ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТООИР

И.Н. Антоненко, И.Э. Крюков (НПП "СпецТек")

Представлены основные этапы развития практик технического обслуживания и ремонта. Одновременно в общих чертах рассматривается ход эволюции информационных систем управления ТООИР. Дана краткая характеристика современных передовых практик ТООИР, таких как обслуживание, ориентированное на надежность, и обслуживание, основанное на анализе рисков. Сформулированы ключевые требования к современной информационной системе, предназначенной для всесторонней поддержки ТООИР.

Ключевые слова: практики ТООИР, обслуживание по наработке, обслуживание по состоянию, обслуживание по критерию надежности, обслуживание, основанное на анализе рисков, информационные системы, компьютеризированная система управления техническим обслуживанием.

Техническое обслуживание и ремонт оборудования (ТООИР) как область деятельности за последние полвека изменилась весьма существенно. Если взглянуть на ТООИР с исторической точки зрения, то нашему вниманию предстанет картина эволюции, соответствующая известному принципу развития по спирали: каждый новый виток имеет сходство с предыдущим, но осуществляется на более высоком уровне.

Развитию ТООИР как области деятельности человека имелись объективные причины. Хотя степень механизации промышленности постепенно наращивалась, примерно до Второй мировой войны она была не очень высокой. Вследствие этого отказы машин и их простои были не слишком важны для предприятий. При этом само оборудование было не очень сложным и легко поддавалось ремонту. В этой связи при эксплуатации оборудования преобладал подход "пусть ломается — починим", известный так же, как "ремонт после отказа" (Run-to-Failure — RTF). Систематическое обслуживание, кроме смазки и чистки, не проводилось.

Затем многое изменилось. Война требовала новых, более сложных и совершенных продуктов промышленности и в большем объеме. А численность рабочих при этом значительно сократилась. В итоге механизация приобрела такой импульс, что к 1950-м годам число машин и механизмов увеличилось в разы, сами они стали значительно сложнее и дороже, от них ожидали удовлетворения важнейших потребностей в надежде на их производительность. Зависимость человека и предприятий от оборудования значительно возросла. Дороговизна машин требовала поиска путей продления их срока службы. Поэтому возникла мысль, что отказы нужно предотвращать, не допускать внезапных остановок производства из-за поломок и аварий, грозящих серьезными последствиями там, где многое отдано на откуп машинам. Мощный стимул исследованиям в области надежности дала корейская война 1950-1953 гг., где американские войска столкнулись с серьезной проблемой обеспечения работоспособности военной техники на удаленном театре военных действий [1]. Практику RTF не так просто реализовать, когда затруднена доставка запчастей.

Так появилось предупредительное обслуживание, а также плановые предупредительные ремонты (ППР). Суть этого подхода в том, чтобы провести ТООИР до наступления отказа, тем самым улучшить техническое состояние оборудования и снизить вероят-

ность возникновения отказа. Дальнейшая эволюция ТООИР в значительной степени стала развитием идеи предупредительного обслуживания.

В какой момент провести ТООИР, чтобы предупредить отказ — этот вопрос стал одним из ключевых. Сначала отказ рассматривался как событие, вероятность которого возрастает по мере работы оборудования из-за износа и старения. В этой связи логичным было решение определять момент проведения ТООИР по достижению некоторой пороговой наработки оборудования (Time-Based Maintenance — TBM). На практике величина этой наработки стала определяться календарным интервалом, в течение которого оборудование находилось в состоянии работы (без учета кратковременных отключений), или более точно — в измеренных единицах фактической выработки (часы, километры пробега, тонно-километры и т.д.). Теория предупредительного ТООИР по критерию времени наработки впервые была представлена в работах [2, 3], позднее появился фундаментальный труд [4], посвященный проблемам обслуживания "стареющих" систем.

Так как вероятность отказа неразрывно связали со временем наработки, а наработка снова накапливалась после ТООИР и опять достигала пороговой величины, то предупредительные работы повторялись. В результате ремонтная деятельность приобрела циклический, отчетливо периодический характер в отличие от хаотических работ при ремонте по отказу. Возникли понятия "ремонтный цикл" и "межремонтный период". Таким образом, предупредительный ТООИР получил реализацию в виде периодического обслуживания и ремонта.

При ремонтах по отказу устранялась та неисправность, которая произошла. В системе же ППР работы выполняются с целью предупредить все возможные отказы. Как следствие, объемы работ при ППР возрастают. Это подстегнуло рост расходов на ТООИР, и возникла необходимость контролировать их и вообще как-то управлять ремонтами и обслуживанием. Появились планы ТООИР и системы планирования, в том числе первые средства автоматизации процедур составления планов-графиков.

Современные АСУ ТООИР — это так называемые CMMS- и EAM-системы (CMMS — Computerized Maintenance Management System, EAM — Enterprise Asset Management). Они унаследовали эти средства формирования планов-графиков, но на качественно новом уровне: в части совместной работы с графика-

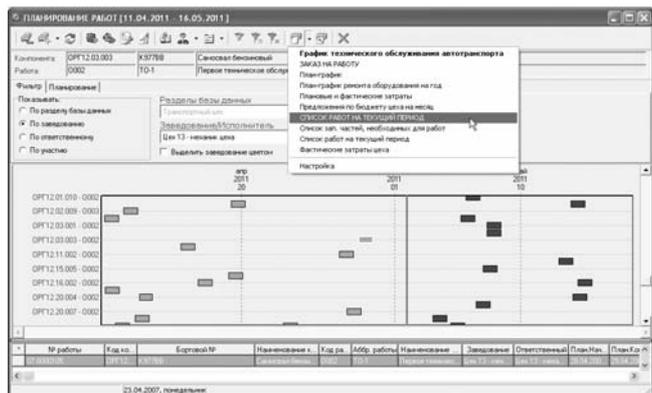


Рис. 1. План-график работ

ми, способов доступа к данным о работах, взаимосвязи графиков работ с материальными и финансовыми потоками и т.д. На рис. 1 представлен пример графика, сформированного в EAM-системе TRIM (далее также используются примеры из TRIM, в других EAM-системах могут быть отличия).

В конце 60-х – начале 70-х годов XX века дальнейшее повышение уровня надежности посредством TBM оказалось под вопросом. Решение проблемы "в лоб", путем тотальных ППР с увеличением частоты их проведения вывело ремонтные затраты на неприемлемо высокий уровень. Кроме того, проведение ППР зачастую совсем не снижало вероятность отказа, а непосредственно после ППР даже повышало ее, что было связано с так называемой "приработкой". В этой связи лобовая атака на проблему надежности оказалась лишенной смысла.

Между тем внедрение передовых методов управления производством, таких как поставка комплектующих "точно в срок" (Just-in-time) и дальнейшее наращивание уровня механизации и автоматизации привело к тому, что даже небольшой отказ мог остановить целое предприятие. Например, если по причине отказа

прекращалось производство одной детали, без которой невозможны последующие этапы сборки. Стандарты экологии и безопасности ужесточались, так что многие компании оказались в ситуации, когда либо надежность оборудования должна соответствовать требованиям, либо компания должна прекратить производство. Качество продукции стало функцией множества факторов, которых раньше не замечали – например, таких как влияние отказа вытяжной вентиляции на снижение качества производимой точной продукции из-за наличия мельчайших частиц пыли в цеху.

Были проведены масштабные исследования механизмов отказа, которые привели к неожиданным выводам – в 1968 г. в авиакомпании United Airlines (США), в 1973 г. в Швеции (Bromberg), а затем в 1982 г. в военно-морском флоте США. Результаты опубликованы в работах [5, с. 45] и [6, с. 3-15]. Оказалось, что только 8...23% отказов соответствует представлению, принятому практикой TBM о том, что интенсивность отказов растет с наработкой оборудования. Эти отказы свойственны относительно простым объектам. Что же касается технически сложных объектов, выяснилось, что между вероятностью их отказа и сроком эксплуатации нет или почти нет взаимосвязи, а это 77...92% отказов (рис. 2). Для этих объектов интенсивность отказа, по крайней мере, за пределами интервала приработки имеет постоянную величину, не изменяющуюся с наработкой.

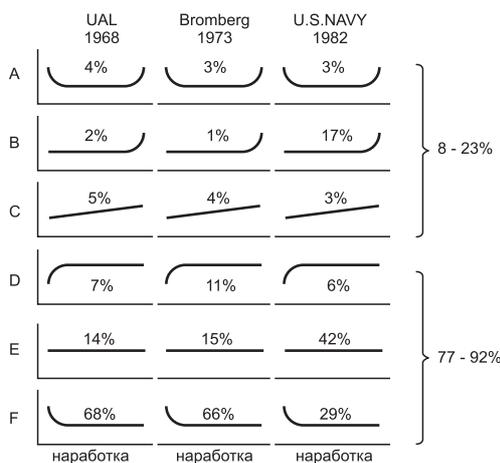


Рис. 2. Варианты зависимости интенсивности отказов от наработки

Стало очевидно, что для 77...92% отказов бессмысленно определять момент предупредительного ТОиР по величине наработки, так как наработка не позволяет прогнозировать приближение отказа, и что в данном случае необходимо опираться не на наработку, а на фактическое техническое состояние оборудования. Несомненно, это придало импульс практике предупредительного обслуживания по состоянию (Condition-Based Maintenance – CBM), теоретические основы которого были разработаны в 1960-х гг. [7, 8].

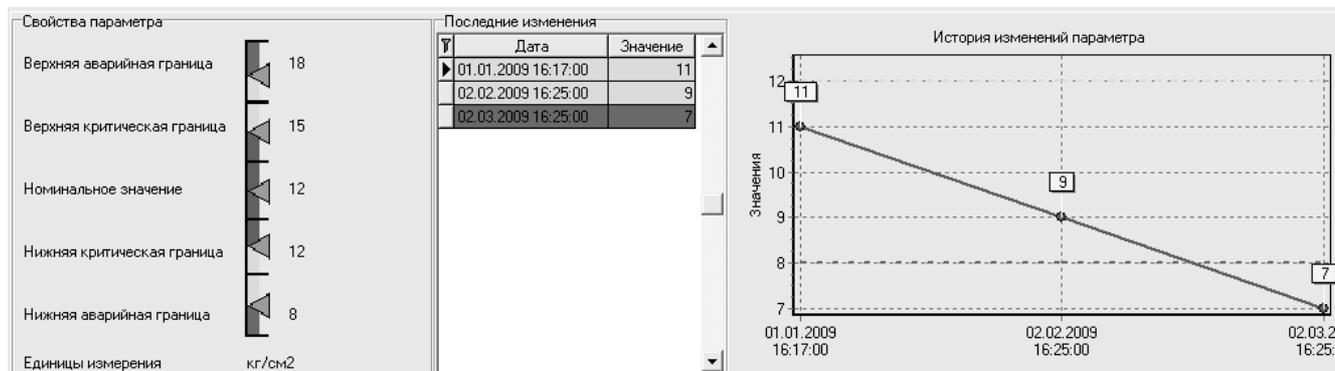


Рис. 3. Определение границ и контроль параметра

Методически правильно было не отказываться от ТВМ вообще, а комбинировать эти две практики ТОиР – применять ТВМ и СВМ к оборудованию, для которого характерны зависимости А, В, С и D, Е, F соответственно. На информационные системы управления ТОиР в этой связи была возложена задача автоматизации формирования комплексного плана-графика, включающего как работы, спланированные по наработке, так и работы по состоянию, а также работы по диагностике и измерению параметров состояния оборудования. Но главное – информационные системы ТОиР взяли на себя функцию сбора и анализа данных о контролируемых параметрах, в том числе посредством взаимодействия с диагностическими системами, хранения и представления истории изменения параметров, индикации номинальных, критических и аварийных уровней и т.д. (рис. 3).

Тем не менее, такое комбинированное предупредительное обслуживание было трудно реализовать. Причина – необходимость в системах диагностики, которые позволяли бы измерять и контролировать массу технических параметров оборудования для СВМ, а также в значительных ресурсах, которые требуются для определения характеристик надежности оборудования и, соответственно, расчета оптимальных межремонтных периодов. Требовались существенные затраты как на приборную базу, системы обработки информации, так и на персонал. Это ограничивало возможности многих компаний по реализации такого ТОиР, поскольку никак не учитывалась ограниченность ресурсов самого предприятия.

На этой основе возник новый подход или новая стратегия проведения ТОиР – обслуживание, ориентированное на надежность (Reliability Centered Maintenance – RCM) [9].

Согласно RCM, различные единицы или группы оборудования на предприятии имеют разную значимость (критичность) для выполнения производственной системой своих функций и исключения возможного ущерба. Соответственно отказы оборудования с разной критичностью относятся по опасности последствий. Поэтому нет смысла тратить ресурсы на предупреждение всех отказов, а предупреждать нужно только те, ко-

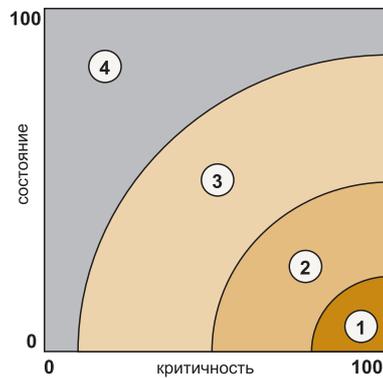


Рис. 4. Зоны стратегий обслуживания

№	Полное наименование оборудования	Назначение работы	АМР, оборудование	Код, оборудование	АМР, работы	Ссылка на код	Код работ
67	719904.0P.04Б	Техническое обслуживание	РС.35.4B K.2121	23000101000741	Т	Т	Т
67	719904.0P.04Б	Техническое обслуживание	РС.35.4B K.2121	23000101001154	Т	Т	Т
47	719904.0P.04Б	Техническое обслуживание	РС.35.4B K.2121	23000101000058	Т	Т	Т
40	030704.0P.35.4B Ф-2 н/л/110/35.4B K.18	Техническое обслуживание	РС.110/35.4B K.12	20010101000048	Т	Т	Т
36	3427704.0P.35.4B Ф-2 н/л/110/35.4B K.12	Техническое обслуживание	РС.110/35.4B K.12	11010101000741	Т	Т	Т
35	3427704.0P.35.4B Ф-2 н/л/110/35.4B K.12	Техническое обслуживание	РС.110/35.4B K.12	11010101000742	Т	Т	Т
31	206204.0P.35.4B Ф-18 н/л/110/35.4B K.302	Техническое обслуживание	РС.110/35.4B K.12	20010101000718	Т	Т	Т
28	206204.0P.35.4B Ф-18 н/л/110/35.4B K.302	Техническое обслуживание	РС.110/35.4B K.12	20010101000719	Т	Т	Т
27	719904.0P.04Б	Техническое обслуживание	РС.35.4B K.2121	23000101000141	Т	Т	Т
27	719904.0P.04Б	Техническое обслуживание	РС.35.4B K.2121	23000101012490	Т	Т	Т
25	140271.0P.35.4B Ф-18 н/л/110/35.4B K.18	Техническое обслуживание	РС.110/35.4B K.12	20010101000938	Т	Т	Т
22	719904.0P.04Б	Техническое обслуживание	РС.35.4B K.2121	23000101000052	Т	Т	Т
22	719904.0P.04Б	Техническое обслуживание	РС.35.4B K.2121	23000101000053	Т	Т	Т
16	117904.0P.35.4B Ф-3 н/л/110/35.4B K.11	Техническое обслуживание	РС.110/35.4B K.12	20010101000013	Т	Т	Т
15	450007.0P.35.4B Ф-4 н/л/110/35.4B K.2121	Техническое обслуживание	РС.110/35.4B K.12	20010101000025	Т	Т	Т
14	404021.0P.35.4B Ф-18 н/л/110/35.4B K.302	Техническое обслуживание	РС.110/35.4B K.12	20010101000021	Т	Т	Т
14	404111.0P.35.4B Ф-18 н/л/110/35.4B K.302	Техническое обслуживание	РС.110/35.4B K.12	20010101000024	Т	Т	Т
14	404111.0P.35.4B Ф-18 н/л/110/35.4B K.302	Техническое обслуживание	РС.110/35.4B K.12	20010101000026	Т	Т	Т

Рис. 5. Список работ, ранжированных по важности

Наука - не предмет чистого мышления, а предмет мышления, постоянно вовлекаемого в практику и постоянно подкрепляемого практикой. Вот почему наука не может изучаться в отрыве от техники.

Дж. Бернал

торые могут вызвать значимые последствия. Таким образом, RCM перемещает внимание предприятия с отказов как таковых на их последствия.

Реализация RCM начинается с функционального анализа оборудования:

- определение функций каждой единицы или группы оборудования в конкретных условиях его эксплуатации в составе производственной системы, вместе с требованиями к качеству выполнения этих функций;
- определение перечня функциональных отказов как неспособности выполнять функции в соответствии с требованиями;
- определение перечня критичного оборудования, отказ которого ведет к функциональному отказу, расчет индекса критичности оборудования.

Наряду с критичным оборудованием выделяется некритичное – это может быть резервированное оборудование, либо отказ которого не влечет последствий в виде функционального отказа. Далее, по отношению к некритичному оборудованию применяется практика RTF, а по отношению к критичному – сочетание практик ТВМ и СВМ. Таким образом, RCM нельзя назвать в чистом виде предупредительным обслуживанием, так как здесь предупредительные практики комбинируются с RTF.

В отношении критичного оборудования применяется комплексная стратегия повышения надежности:

- анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО анализ), формирование моделей оценки технического состояния, определение параметров надежности оборудования и интенсивности отдельных видов отказов;
- измерение и мониторинг параметров оборудования, использование их как исходных данных в моде-

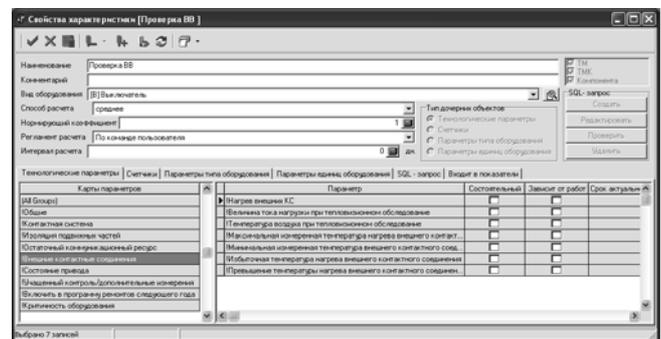


Рис. 6. Формирование модели оценки состояния

лях оценки состояния, применение моделей для расчета результирующего индекса состояния;

- расчет показателя важности (интегральный показатель индекса критичности и индекса состояния);
- распределение оборудования по зонам стратегий обслуживания в зависимости от важности (рис. 4): зона 4 – осмотр и мониторинг; зона 3 – текущий ремонт и обслуживание; зона 2 – капитальный ремонт; зона 1 – замена оборудования;
- ранжирование работ по важности (рис. 5) с тем, чтобы направлять ограниченные ресурсы на выполнение в первую очередь тех работ по ТОиР, которые дадут наибольший вклад в повышение надежности.

В составе критичного оборудования выделяется группа, в отношении которой невозможен контроль состояния, или где никакое обслуживание не привело и не приведет к повышению надежности. Здесь применяется практика выявления коренных причин отказов, разрабатываются планы по реконструкции и модернизации оборудования для устранения коренной причины (Proactive Maintenance).

Информационные системы ТОиР интегрировали все перечисленные инструменты, делая их реализуемыми и управляемыми. В частности, информационные системы приобрели возможности создавать, редактировать, хранить и использовать модели оценки технического состояния оборудования (рис. 6). Формирование и использование моделей имеет решающее значение при оценке технического состояния сложных объектов. Оценка состояния осуществляется по совокупности критериев, каждый из которых зависит от множества параметров, при этом число видов оборудования и, соответственно, моделей может быть очень велико.

За последние 10...15 лет ТОиР как область деятельности обогатилась еще десятками современных практик. В том числе, на повестку дня вышла задача оценки и сопоставления рисков (Risk-Based Maintenance – RBM) [10]. Оборудование может иметь высокий показатель критичности и при этом неудовлетворительное значение индекса состояния, то есть находиться в числе приоритетов на выполнение ТОиР, однако затраты на его обслуживание и ремонт при этом могут превышать стоимостную оценку тех последствий, которые возникнут в результате отказа этого оборудования. В этой связи необходимо определиться – снизить риск последствий посредством проведения ТОиР либо принять этот риск и ТОиР не проводить. Естественно, что для принятия таких решений информационная система ТОиР, помимо прочего, должна обеспечить руководителя корректной и полной прогнозной информацией о стоимости ТОиР.

Заключение

Сегодня предприятия ощущают необходимость в тонкой настройке инструментов управления ТОиР под текущие задачи бизнеса и под профиль материальных

активов, уникальный на каждом предприятии. Потребность в реализации различных практик ТОиР, комплексировании этих практик, необходимость анализа и периодического пересмотра выбранных стратегий ТОиР требует адекватных инструментов управления, таких как информационная система управления ТОиР. Такая система сегодня должна иметь возможность интегрировать:

- систему корпоративных целей в области затрат, надежности оборудования, производительности, безопасности, экологии, качества;
- систему показателей и допустимых уровней рисков, разработанных на основе целей;
- инструментарий анализа видов, последствий и критичности отказов, оценки затрат на их предупреждение, выбора оптимальной стратегии обслуживания, исходя из критериев надежности, эффективности и допустимого риска;
- модели оценки состояния объектов основных фондов, позволяющие оценивать их техническое состояние на основе измеряемых параметров, рассчитывать характеристики надежности и их влияние на установленные показатели и цели;
- инструментарий, позволяющий проводить АВПКО, рассматривать сценарии "что, если", строить тренды, планировать обслуживание и ремонт оборудования с учетом объективных данных о его надежности;
- программные инструменты для автоматизации операций моделирования, планирования, анализа, а также учета данных: состав оборудования, наработка, техническое и эксплуатационное состояние каждой единицы, дефекты и отказы, плановые работы и снабжение, история замен, ремонтов и перемещений, запасы и расход запчастей, трудоемкость и т.д.

Список литературы

1. Ушаков И.А. Откуда есть пошла надежность на Руси // Методы менеджмента качества. 2009. № 1.
2. Herd G. Failure rates. Washington: ARINC Monograph 2:31, Aeronautical Radio Inc. 1955.
3. Weiss G. On the theory of replacement of machinery with a random failure time // Naval research logistics quarterly. 1956. Vol. 3. №4.
4. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности / Пер. с англ. под ред. Б.В. Гнеденко. М.: Советское радио. 1969.
5. Smith A. Reliability-Centered Maintenance. NY: McGraw-Hill, Inc., 1993.
6. Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment. NASA, 2000.
7. Derman C., Sacks J. Replacement of periodically inspected equipment // Naval research logistics quarterly. 1960. Vol. 7. №4.
8. Герцбах И. Б. О профилактике по прогнозирующему параметру // Известия АН СССР. Сер.: Техническая кибернетика. 1967. №1.
9. Nowlan F.S., Heap H.F. Reliability-centered Maintenance. San Francisco: Dolby Access Press, 1978.
10. Khan F., Haddara M. Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2003. Vol. 16. № 6.

Антоненко Игорь Николаевич – начальник отдела маркетинга НПП "СпецТек"

Крюков Игорь Энеевич – ген. директор ООО "АйТиЭм", заместитель ген. директора НПП "СпецТек".

Контактный телефон (812) 329-45-60. E-mail: sales@spectec.ru