

ВВЕДЕНИЕ

Традиционные методы технического обслуживания объектов, применяемые на промышленных предприятиях, можно разделить на две категории: эксплуатация оборудования до выхода его из строя и планово-профилактическое обслуживание (по календарным срокам или ресурсу). Повышение технического уровня, качества и надежности машин, улучшения их использования сейчас во многом зависит от средств технической диагностики. Поэтому многие фирмы переходят на техническое обслуживание оборудования по состоянию с применением мониторинга и диагностики.

В очередном номере журнала представлены:

– подробное описание концепции обслуживания RCM (Reliability-centered Maintenance), ориентированной на надежность работы оборудования: общие положения, принципы работы, типы программ обслуживания, методы реализации;

– программно-аппаратные комплексы, реализующие методику диагностики и мониторинга оборудования по состоянию, отечественных производителей: *Ассоциации ВАСТ (Санкт-Петербург), НПЦ "Динамика" (г. Омск), компаний АКСИТЕХ, Галактика (Москва);*

– решения зарубежных производителей, предназначенные для диагностики и мониторинга оборудования по состоянию: *компаний OSIsoft, Siemens, Emerson, HWM и Radcom Technologies (Великобритания);*

– выполненные проекты в области мониторинга и диагностики оборудования: методика оценки состояния очистного комплекса шахты, разработанная в рамках совместного проекта ИПКОН РАН и НПП "СпецТек"; система мониторинга состояния моста на остров Русский во Владивостоке, реализованная ОАО "Трансмост" и ООО "Т.К.М."; информационно-диагностическая система бурового станка производства ООО "Компания "Объединенная Энергия".

ОБСЛУЖИВАНИЕ ПО СОСТОЯНИЮ. КОНЦЕПЦИЯ RCM

Д.Б. Шехватов (IFS Russia&CIS)

Подробно рассмотрена концепция организации программ обслуживания и ремонта на предприятии оптимальным образом RCM: общие положения, принципы работы, типы программ обслуживания, методы реализации.

Ключевые слова: обслуживание и ремонты, плановое и предупредительное обслуживание, обслуживание по состоянию, EAM-система, отказы, надежность.

Общие замечания

Методология RCM (Reliability Centered Maintenance) – способ организации программ обслуживания и ремонта на конкретном предприятии оптимальным образом. Суть оптимизации состоит в том, что в различных производственных контекстах последствия выхода из строя элемента/узла/станка могут быть разными. RCM подход предполагает анализ и пересмотр существующих программ обслуживания с учетом возможных последствий (экономических, экологических, безопасности) и выработку новых стратегий ремонтных воздействий, принимая во внимание значимость этих последствий.

Плановое и предупредительное обслуживание (ППР) до сих пор считалось наиболее продвинутым и эффективным методом для промышленных организаций. ППР программа исходит из предпосылки наличия фундаментальной причинно-следственной взаимосвязи между плановым обслуживанием и надежностью оборудования. Эта предпосылка базировалась на интуитивной вере в то, что механические узлы изнашиваются, и надежность любого оборудо-

вания непосредственно связана со сроком его эксплуатации. Отсюда следовало, что, чем чаще оборудование ремонтируется, тем лучше оно защищено от возможных поломок и отказов в будущем. Единственной проблемой было определение временной границы, в рамках которой обеспечивалась требуемая надежность. В исследованиях на эту тему авторы Нолан и Хип (Nowlan & Heap) приходят к выводу о том, что «стратегия обслуживания, целиком основанная на некоем максимальном времени эксплуатации, независимо от значения этого максимального времени оказывает минимальный эффект либо вообще никакого на частоту отказов».

В ходе ряда не связанных друг с другом исследований было выявлено существенное различие между максимальным значением времени, реальным и прогнозным, определяемым на стадии проектирования. Более того, было обнаружено, что во многих случаях реальный срок годности оборудования во многом превосходит прогнозный срок.

Работа Нолана и Хипа оказалась по-своему революционной. Исходно разработанная для программы

обслуживания самолета Boeing 747 она послужила началом проникновения RCM во все остальные отрасли.

RCM подход представляет собой оптимальное сочетание различных методов обслуживания (ремонта): по факту поломки, по календарю, по условию, профилактический. Эти различные стратегии комбинируются в набор, направленный на максимальное повышение надежности с одновременной минимизацией стоимости жизненного цикла (стоимости владения). Так, обнаружение небольшой протечки в насосе для перекачки агрессивной жидкости (например, с высоким содержанием абразивных материалов на обогатительном комбинате) означает, скорее всего, что он проработает не более нескольких суток, возможно, одну смену. Тот же насос в неагрессивной среде при аналогичном симптоме может работать месяцами. Регламентные работы, указываемые производителем, в одном контексте часто избыточны и непродуктивны, а в другом — недостаточны и требуют либо более частых осмотров и измерений, либо сокращения календарных ППР интервалов. Суть RCM подхода — в выработке набора адекватных ремонтных стратегий применительно к конкретному операционному контексту и конкретному объекту.

Доминирование того или иного метода обслуживания во многом определяется спецификой самого оборудования и его ролью в общем контуре предприятия. Обычно выделяют следующие четыре метода — реагирующий, календарный, профилактический и «по состоянию».

Реагирующий подход (по факту поломки) используется для: небольших, некритичных по важности для функционирования предприятия в целом, избыточных, отказоустойчивых, несущественных узлов и компонентов.

Календарный подход используется для объектов и узлов: претерпевающих износ; потребляемых и требующих замены; имеющих известные модели отказа.

Подход «ремонт по состоянию» используется для: объектов с вероятностными моделями отказов; объектов, к которым неприменимо понятие износа; объектов, для которых характерны отказы и поломки, возникающие как следствие выполнения ППР действий.

Профилактический подход применим к объектам, для которых:

- выполняется RCFA анализ (Root Cause Failure Analysis — анализ первопричины);
- применимы методы определения возрастного старения (например, выявление скрытых трещин, напряжений, изменений в структуре и т. п.);
- выполняется FMEA анализ (Failure Modes and Effect Analysis — анализ характера и последствий отказов);
- выполняются тесты приемки.

Указанная классификация — лишь предпосылка, приведенная для обобщенной иллюстрации RCM подхода. В каждом конкретном случае необходимо

создавать собственную классификацию, постепенно выстраивая классы объектов, к каждому из которых будет применяться своя комбинация методов. Эта работа не является разовым мероприятием и именно по этой причине об RCM говорят, в первую очередь, как о программе, то есть системном применении (и постоянном совершенствовании) подхода на протяжении всего жизненного цикла объекта.

Плановое обслуживание исходит из предпосылки, что вероятности отказов могут быть определены статистически для индивидуальных объектов и компонентов, а отдельные узлы могут заменяться, этим предотвращая отказы. Типовой пример — замена подшипника после наработки по прошествии определенного времени.

В то же самое время исследования показывают, что разброс в значениях времени отказа для однотипных элементов (например, тех же подшипников) оказывается столь высоким, что неэффективность стратегии календарного обслуживания становится абсолютно очевидной. Углубленный анализ этой проблемы стартовал в 80-е годы, когда параллельно с развитием интегрированных ERP-систем в программном обеспечении выделилось функциональное направление, посвященное исключительно решению задач ремонта и обслуживания оборудования. Интегрированные системы, поддерживающие такую функциональность, получили название систем управления основными фондами с аббревиатурой EAM (Enterprise Asset Management). Использование EAM-систем в комплексе с диагностическими программами позволило во многих случаях идентифицировать причины отказов, квалифицировать состояние оборудования и создавать гораздо более адекватные и эффективные программы обслуживания, чем те, которые основаны на строго календарном подходе, зачастую содержащем заведомо неверные оценки времени отказа. Последние исследования в этой области показали, что причины отказов, связанные со старением или износом, составляют лишь малую часть от общей картины. Эти новые сведения сместили акцент с обслуживания по календарю на обслуживание по состоянию.

Не следует полагать, что все календарное обслуживание может быть заменено обслуживанием по состоянию. Календарное обслуживание уместно для тех узлов, где имеет место абразивный износ, коррозия, усталость и прочие изменения характеристик материала, и в тех случаях, когда взаимосвязь между надежностью и возрастом носит ярко выраженный характер.

Для тех же узлов, последствия поломки которых не связаны с безопасностью, ущербом для окружающей среды и стоимостью владения, предупредительное обслуживание не должно применяться, то есть оборудование должно работать вплоть до поломки и затем подлежать замене.

В некоторых странах для ряда отраслей концепция RCM была принята на уровне государственной стра-

тегии. Общий принцип RCM исходит из важности последствий и стоимости отказа. Он также опирается на концепцию повышения надежности на протяжении всего жизненного цикла. Это предполагает:

- обратную связь с производителями и проектировщиками для улучшения дизайна, технических характеристик с учетом накопленного опыта и информации по отказам;
- мониторинг состояния объектов и накопления сведений для оптимизации программы по выводу объекта из эксплуатации.

Известны сложности в планировании и выполнении работ по списанию, связанные в первую очередь с отсутствием адекватной информации о текущем состоянии объекта.

Принципы RCM

- RCM подход функционально ориентирован на поддержание работоспособности системы или функции оборудования, а не работоспособности ради себя самой. Дублирование и/или резервирование оборудования повышает функциональную надежность, но увеличивает стоимость жизненного цикла и операционные затраты.

- RCM подход системно фокусирован – более ориентирован на поддержание функционирования системы, нежели функции индивидуального компонента.

- RCM надежно ориентирован – статистика отказов анализируется по актуарному принципу, то есть с фиксацией дат возникновения прошлых событий. Анализируется взаимосвязь между фактическим возрастом объекта (наработкой) и произошедшими отказами. Причем речь идет не просто о частоте отказов. Делается попытка выявить зависимость вероятности отказа для заданных временных интервалов. Машины «не понимают», как работает календарь; возникновение отказа в некий момент времени обязано не календарю, а вполне конкретным физическим процессам и воздействиям. Календарная интерпретация мало информативна. Повышенная частота отказов в рамках определенного временного интервала указывает на наличие неких скрытых причин, которые и необходимо выявить.

- RCM учитывает инженерные/проектные ограничения – при анализе надежности учитывается конкретная реализация объекта, принимая во внимание, что сама по себе надежность объекта определяется в первую очередь конкретной технической реализацией, а не методом обслуживания. Обслуживание, в лучшем случае, может обеспечить уровень надежности, определяемый выбранной конструкцией. В то же время RCM подход учитывает, что данные по обслуживанию и отказам важны для улучшения существующей конструкции и предполагает обязательное наличие обратной связи эксплуатант-проектировщик (изготовитель). Также принимается во внимание различие между планировавшимся и фактическим исполнением объекта.

- RCM отталкивается от безопасности и экономической эффективности: безопасность должна быть обеспечена любой ценой, а экономическая эффективность становится критерием оценки.

- RCM определяет отказ как «неудовлетворительное состояние». Как следствие, отказом может явиться либо потеря функциональности, либо потеря надлежащего качества (неудовлетворительное функционирование).

- RCM программа должна содержать выполнимые, конкретные задания и работы, не обобщенные положения, лозунги или послы. Задания должны быть конструктивны и направлены на анализ типа и характеристик отказа.

- Работы по программе RCM должны быть эффективны. Это означает, что их исполнение должно снижать вероятность отказа и повышать экономическую эффективность (снижать издержки).

- RCM обычно выделяет три типа работ по обслуживанию: а) плановое обслуживание, б) обслуживание по состоянию и в) поиск (идентификация) неисправностей. Плановое обслуживание выполняется там, где его и полагается выполнять. Обслуживание по состоянию выполняется там, где состояние объекта указывает на необходимость такого обслуживания. Работы по поиску неисправностей предполагают поиск и выявление скрытых причин, которые привели к отказу без проявления внешних признаков. И, наконец, выделение класса объектов, для которых подход «работа до поломки» является оправданным и сознательным выбором.

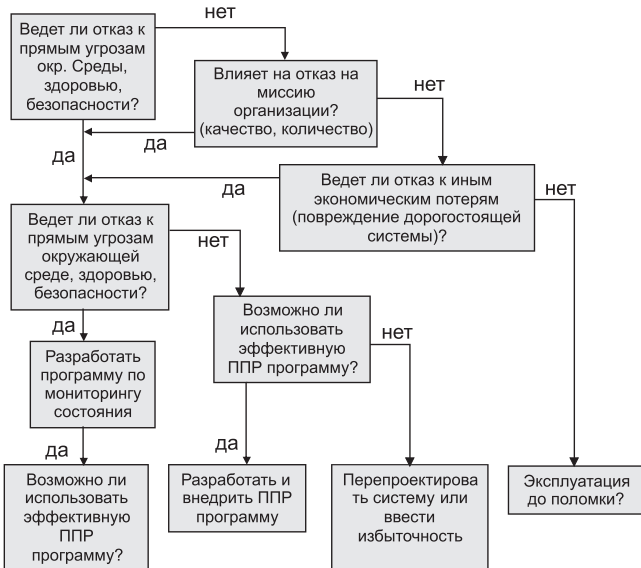
- RCM – это подход с обратной связью и различными участниками. Информация по отказам собирается, обобщается и анализируется, а результаты делаются доступными разработчикам и производителям для последующего улучшения конструкции и процедур обслуживания.

Типы RCM

Организация и проведение RCM программы может осуществляться различными способами. Программа может быть основана на глубоко проработанных методиках анализа причин и последствий отказов (FMEA) с вычислениями вероятности отказов на основе инженерных или исторических данных, на основе интуиции и здравого смысла, экспериментальных данных и/или моделирования. Эти подходы порой называют классическими, интуитивными и упрощенными. Иногда употребляют термины «оптимизация ППР», «надежно-ориентированный подход». Все эти понятия допустимы. Решение о том, какой подход применять, определяется конкретной ситуацией и основывается на следующем: последствия отказа; вероятность отказа; доступность исторических данных; рискоустойчивость; доступность ресурсов.

Классический RCM

а. *Преимущества.* Классический RCM основан на анализе максимально возможного объема инфор-



Дерево принятия решений

мации, относящейся к функциями системы, типам отказов и ППР действиям. Классический RCM анализ как самостоятельный метод исходно был предложен и описан Ноланом и Хипом и в дальнейшем модифицирован John Moubray, Anthony M. Smith и др. Этот метод обеспечивает наиболее полное документирование всех описанных методов.

б. Проблемы. Классический RCM исторически основывался на FMEA без или с минимальным анализом исторических данных. Помимо этого, классический RCM анализ чрезвычайно трудоемок и часто откладывает реализацию очевидных задач по мониторингу состояния.

с. Применение. Указанный подход должен быть ограничен тремя случаями:

- последствия отказа ведут к катастрофическим рискам, касающимся здоровья, окружающей среды, безопасности и/или полному экономическому краху бизнес-единицы;
- применение упрощенного RCM не позволяет добиться требуемой надежности и приемлемых затрат на ремонт;
- эксплуатируемая система или оборудование является новым для организации; опыт его эксплуатации и сведения об отказах отсутствуют.

Упрощенный RCM

а. Преимущества. Упрощенный, интуитивный подход ориентирован на идентификацию и выполнение очевидных, обычно основанных на принципе «по состоянию», обслуживающих и ремонтных работ с минимальным анализом. Анализ исторических данных для работ, дающих незначительный экономический эффект, сводится к минимуму или вовсе не проводится. Цель состоит в сокращении времени на первоначальный анализ для наискорейшего получения первых положительных результатов, что отодвинет затраты на внедрение FMEA и мониторинг по состоянию.

б. Проблемы. Классический RCM исторически основывался на FMEA без или с минимальным анализом исторических данных. Помимо этого, классический RCM анализ чрезвычайно трудоемок и часто откладывает реализацию очевидных задач по мониторингу состояния.

с. Применение. Данный подход рекомендуется использовать в следующих ситуациях:

- функционирование системы/оборудования/узла хорошо понимаемо;
- функциональный отказ оборудования не приводит к его утрате или катастрофическим последствиям.

RCM анализ

RCM анализ должен рассмотреть и ответить на следующие вопросы:

- Что делает данный объект или система; каковы его функции?
- Какие возможны функциональные отказы?
- Каковы последствия этих отказов?
- Что может быть сделано для сокращения этих отказов, идентификации наступления отказов, уменьшения последствий отказов?

Ответы на эти вопросы позволят определить, какой из методов обслуживания наиболее подходит к выбранному объекту или системе. Для этого можно воспользоваться «деревом принятия решений», приведенном на рисунке.

Отметим, что приведенный процесс анализа дает всего четыре возможных результата:

- выполнение ремонта по состоянию (РС);
- выполнение обслуживания по календарю (ППР);
- необходимость определить, даст ли перепроектирование желаемый результат, или ввести избыточность, установив, что ни одно из возможных обслуживающих воздействий не уменьшит вероятность отказа;
- не выполнять никаких действий, предпочтя ремонт после поломки.

Отказы и системный подход

Под отказом понимается утрата возможности исполнения надлежащей функции или производительности. RCM рассматривает отказы на нескольких уровнях: системный уровень, подсистемный уровень, компонентный уровень и иногда уровень узла (отдельного компонента). Организация эффективного обслуживания предполагает обеспечение требуемого уровня функционирования системы с минимальными затратами. Это означает, что подход к обслуживанию должен основываться на четком понимании причин и последствий отказов на каждом из уровней. Компоненты системы могут стареть и даже отказывать, но при этом не приводить к выходу системы из строя в целом. С другой стороны, несколько состарившихся (износившихся) компонентов могут вызвать отказ системы, хотя ни один из них в отдельности не отказал.

Системы и системные границы. Понятие конфигурации

Под системой понимается любой, определяемый пользователем набор компонентов, оборудования или объектов, которые обеспечивают необходимые операционные требования. Это могут быть требования к безопасности, защите окружающей среды, качеству и др. Большинство систем может подразделяться на подсистемы с определяемыми пользователями границами. Подсистемы вводятся в тех случаях, когда сложность системы затрудняет анализ ее состояния. Структуризация предприятия на подсистемы связана с известными трудностями. Суть проблемы заключается в наличии различных целевых функций для различных участников, их ответственности за «свои» подсистемы и игнорирование «чужих». При систематизации объекта необходимо отталкиваться от целей участников, которые будут работать с данным представлением. Эти цели определяют форму представления информации и полноту описания. Избыточное описание контрпродуктивно.

Ремонту и обслуживанию объекта предшествуют стадии его проектирования и изготовления. Описание и представления объекта на каждой из этих стадий различны. В стандарте системной инженерии определяются целевые функции на разных этапах жизни объекта и для различных пользовательских групп. В терминах системной инженерии принято говорить о различных конфигурациях. Так, на этапе проектирования выделяют инженерную конфигурацию, на этапе производства – производственную, на этапе эксплуатации – эксплуатационную. На этапе эксплуатации концепция жизненного цикла предполагает поддержание и ведение, как минимум, двух конфигураций: эксплуатационной и ремонтной (сервисной). Эксплуатационная конфигурация отражает фактическое состояние объекта глазами эксплуатирующих служб. Структуризация конфигурации на системы делается также под углом зрения эксплуатантов.

Эксплуатационная конфигурация не совпадает с ремонтной конфигурацией (иногда называемой регистром оборудования). Пример эксплуатационной конфигурации – 3D модель объекта с привязкой к сопутствующим документам, чертежам, инструкциям и истории изменений (модернизациям, заменам, расширениям, обновлениям).

Ремонтная конфигурация содержит только те элементы (компоненты, системы и т. п.), которые подвергаются ремонтным воздействиям. Структурирование ремонтной конфигурации на системы и подсистемы выполняется по методикам, принятым при создании регистра оборудования ЕАМ системах. Идея этих методик состоит в том, чтобы созданная конфигурация облегчала: а) составление планов обслуживания и ремонта объектов станции; б) проведение RCM анализа.

В ремонтных конфигурациях классификация во многом опирается на выбранную методику ремонтных воздействий. Так, например, все объекты или системы, обслуживаемые сторонними организа-

циями, получают соответствующий признак аналогично оборудованию, находящемуся на гарантии.

Структурирование на подсистемы требуется также в следующих случаях:

- система содержит «конфликтные» элементы, которые одновременно попадают и в данную, и в смежную с ней систему.
- необходимо принимать во внимание физические барьеры и границы (здание, охладительная установка, бак и т. д.).

При выборе и определении границ желательно придерживаться унификации. Например, при декомпозиции насоса на компоненты (обслуживаемые/ремонтные) к помпе будет отнесена прокладка, редуктор и обратный клапан, а к мотору – электрические цепи, но не редуктор. Декомпозиция всех подобных по конструкции насосов должна при этом следовать указанному правилу.

Классификатор должен допускать группировку и сортировку объектов и систем по выбранной стратегии ремонтных воздействий.

Функции и функциональные отказы

Под функциональным отказом будем понимать различные случаи, когда система или подсистема перестает соответствовать функциональным требованиям, заложенным в ее конструкцию, исключая при этом те случаи и ситуации, в которых параметры системы ухудшились, но это не отражается на требованиях, предъявляемых к ней в рамках существующего операционного контекста.

Очень важно определить все функции, которые существенны в данном операционном контексте. Функциональный отказ тогда может быть четко определен через функции, следствием неисполнения которых (одной или нескольких) он явился. Например, недостаточно определить функцию насоса как перекачку жидкости. Функциональность должна отражать специфику и должна быть представлена в измеримых показателях, например, скорости потока, создаваемого давления, уровня вибрации и т. п. Отсутствие измеримых показателей не позволяет организовать решение задач как контроля, так и ремонта и диагностики в виде процессов и придать им системный характер. Поддержка указанных задач компьютерной системой также становится фрагментарной и, следовательно, неэффективной. Применительно к задачам ремонта и диагностики речь идет, прежде всего, об операционной эффективности. Время на поиск и определение причины неисправности возрастает, также возрастает и время ее устранения.

О типах отказов

Принято выделять доминантные отказы, на которые приходится подавляющая часть всех отказов объекта.

Не все типы отказов или их причины позволяют создать для них предупредительные или «по состоя-

нию» программы обслуживания, поскольку вероятность их возникновения в будущем может быть невысокой, а последствия не носят системный характер.

Надежность

Надежность обычно принято выражать в среднем времени наработки на отказ (Mean Time to Failure – MTTF) или среднем временем между двумя последовательными отказами (Mean Time Between Failure – MTBF). Условная вероятность отказа выражает вероятность отказа в заданном временном интервале (старение). Условная вероятность отказа отражает общий негативный эффект старения и не является мерой изменений, происходящих с объектом.

Частота отказов не играет большой роли в обслуживающих программах, будучи чересчур упрощенным показателем. Этот показатель полезен при рассмотрении экономических (ценовых) аспектов и определения частоты планового обслуживания. Он, однако, ничего не говорит нам о том, какое обслуживание более предпочтительно или каковы последствия отказа. Конструктивное решение по обслуживанию должно быть определено в терминах безопасности или экономических последствиях, которые необходимо предотвратить.

Характеристики отказов

Исследования последних десятилетий позволили выделить несколько типовых моделей старения и отказов оборудования и сделать ряд обобщающих выводов. Было показано, что одиночные и простые объекты часто демонстрируют прямую зависимость между надежностью и возрастом. Это, в частности, верно для тех случаев, когда речь идет об усталости металла, механическом износе или износе объекта, проектируемого как «расходуемый/изнашиваемый» (с коротким или хорошо прогнозируемым сроком службы). У таких объектов для повышения надежности системы, узлами которой они являются, срок службы лучше определять на основании времени наработки или результатов нагрузочных циклов. Сложные, комплексные объекты часто демонстрируют «детскую смертность» – повышенное число отказов на начальном этапе эксплуатации. После прохождения начального этапа вероятность отказа либо плавно и постепенно увеличивается, либо остается на одном уровне. Для объектов такого типа нетипично наличие явно выраженного срока износа. Именно к таким объектам применимо положение о возможности продления срока службы. Во многих случаях проведение плановых ремонтов на таких объектах увеличивает общую частоту отказов за счет увеличения «детской смертности».

Предупреждение отказов. Системный характер поломок и системный подход

Внесистемное рассмотрение узлов и элементов позволяет применять к ним простые ППР процедуры на основании данных износа, времени наработ-

*Прогресс начинается с веры в то, что
необходимое всегда возможно.*

Н. Казинс

ки, данных по нагрузке. Однако для сложных объектов, состоящих из сотен взаимодействующих узлов (компонентов) типов отказов может быть несколько. И хотя природа отказов остается той же, сами отказы уже не происходят по той же самой причине и при той же наработке. Для таких объектов, как правило, невозможно создать эффективную ППР процедуру, за исключением тех случаев, когда число типов доминирующих отказов мало.

В большинстве случаев выявление системности невозможно без использования соответствующего ПО, в первую очередь, ЕАМ систем. Эти программные средства позволяют провести анализ отказов и поломок в различных разрезах и сочетаниях, выявляя скрытые, системообразующие зависимости. Эти зависимости и позволяют определить системные границы. Важным обстоятельством является то, что эти системы и системные границы могут вовсе не совпадать с системами и границами систем в инженерном понимании (система питания, система водоснабжения и т. д.).

Анализ отказов и их последствий (Failure Modes and Effects Analysis – FMEA)

Принцип FMEA применяется к каждой системе, подсистеме и объекту, определенному в рамках системных границ. Для каждой функции может быть определено несколько типов отказов. При FMEA подходе каждая системная функция анализируется, и выделяются доминирующие типы отказов. Затем рассматриваются последствия отказов (потеря производительности объекта, выход из строя системы и т. п.).

Даже при наличии нескольких типов отказов их последствия могут быть очень близкими по природе. Аналогичным образом схожие системы и объекты могут иметь одинаковый набор типов отказов. Правда, последствия при этом могут быть различными. Аналогичный по типу отказ, вызванный поломкой подшипника (например, заклинивание), у различных объектов может вести к различным последствиям.

Критичность отказов. Вероятность возникновения

В настоящее время существует много методов классификации критичности отказов. Приведенный пример можно использовать как отправную точку для построения своего собственного классификатора (таблица).

Реализация RCM метода

Универсального метода реализации RCM концепции не существует. Слишком велико и разнообразно оказывается число комбинаций: предприятие-оборудование-условия. Квалификация обслуживающего

Таблица. классификация критичности отказов

Ранг	Эффект	Комментарий
1	Нулевой	Нет оснований ожидать, что отказ окажет какой-либо эффект на безопасность, здоровье, окружающую среду или функционирование объекта
2	Очень слабый	Минимальный ущерб функционированию объекта. Восстановление может быть выполнено в кратчайшие сроки
3	Слабый	Минимальный ущерб функционированию объекта. Восстановление может занять некоторое время, но производительность объекта не снизится
4	От слабого до среднего	Средний ущерб функционированию объекта. Возможно потребуется либо заново выполнить отдельные работы, либо произойдет задержка в выполнении отдельных процессов
5	Средний	Средний ущерб функционированию объекта. Со 100% вероятностью потребуется заново выполнить отдельные работы или произойдет задержка выполнения отдельных процессов
6	От среднего до высокого	Средний ущерб функционированию объекта. Часть выполненной работы потеряна. Средняя задержка в восстановлении работоспособности
7	Высокий	Высокий ущерб функционированию объекта. Часть выполненной работы потеряна. Значительные задержки в восстановлении работоспособности
8	Очень высокий	Высокий ущерб функционированию объекта. Вся выполненная работа потеряна. Значительные задержки в восстановлении работоспособности
9	Угрожающий	Потенциальная угроза безопасности, здоровью или окружающей среде. Отказ возникает с предварительным оповещением
10	Угрожающий	Потенциальная угроза безопасности, здоровью или окружающей среде. Отказ возникает без оповещения

персонала, рыночная стратегия предприятия также оказывают очень сильное влияние на организацию ремонтных работ.

Важным и самым сложным местом является выявление выгод, в первую очередь, экономических от реализации RCM подхода. Его реализация должна окупиться, следовательно, нужно понимать, где это может произойти и за счет чего. Подход был изначально разработан для авиации и атомных станций. Не все его принципы эффективны для остальных производственных областей.

Накопленный за последние десятилетия опыт реализации RCM был обобщен экспертами и специалистами. Вот некоторые из общих рекомендаций.

1. Обязательным условием является определение показателей эффективности. Результаты работ по реализации RCM должны быть измеримы.

2. Спецификации по состоянию оборудования должны быть квалифицированы – уровень шума, вибраций, состояния (кислотности) масел. В противном случае латентные дефекты будут возникать постоянно. В настоящее время имеется достаточно классификаторов и формализованных критериев оценки, подходящих для большинства организаций. В приложениях к различным стандартам (в основном, военным – MIL, NASA) имеется обширная информация на эту тему.

3. Использование анализа Парето считается наилучшим для начала реализации RCM подхода.

RCM в практике EAM-систем

Накопление опыта в этой области привело также к появлению некоммерческих организаций, занявших обобщением, стандартизацией и выработкой наиболее эффективных подходов в управлении ремонтами и обслуживанием оборудования (например, MIMOSA, OASIS). Эти организации объединили крупных производителей как ПО, так и промышленного оборудования. Появление первых стандартов в этой области (которые, скорее, следует отнести к эффективным методикам, нежели к стандартам в каноническом понимании этого слова) позволило

расширить возможности EAM-систем и реализовать в них поддержку требований, налагаемых RCM подходом. Рассмотрим реализацию специализированной функциональности, поддерживаемой системой IFS Applications – одним из лидеров рынка EAM/ERP-систем. Компания IFS является членом многих некоммерческих организаций, занимающихся EAM проблематикой (MIMOSA, инициатива PLCS, стандарты STEP) и внесла значительный вклад в разработку методов компьютерной поддержки задач обслуживания оборудования.

Помимо классического набора EAM функций, обеспечивающих планирование и управление ремонтными работами, ведение регистра оборудования, управление материалами, запасными частями и персоналом, система содержит набор решений, учитывающих специфику обслуживания различных классов объектов с учетом RCM требований. В качестве примера рассмотрим функциональность управления парком транспортных средств. Система позволяет классифицировать неполадки, отказы, неисправности и предупреждающие сигналы с учетом критичности и выбранной ремонтной стратегии. Так, вводится понятие «отложенный ремонт» для некритичных узлов с определением допустимого временного интервала этой «отложенности». Сообщение о приближении к выработке ресурса узла X позволяет системе передвинуть время проведения регламентных работ в рамках допустимого интервала на дату, когда это удобнее всего будет сделать, например, связав обслуживание с другим, запланированным на более позднюю дату набором работ. Следующим примером реализации специализированной функциональности в системе IFS Applications является поддержка управления конфигурацией. В противоположность классическому ППП метод RCM предполагает также контроль ресурса (наработки) объекта/узла/агрегата и оповещении об этом при приближении к граничным значениям. При этом сам объект может модернизироваться и обновляться, типовые агрегаты могут ремонтироваться и перемещаться с объекта на объект (двигатели автомобилей, турбины самолетов). Вся история замен

и перемещений отдельных узлов сложных агрегатов с учетом фактического состояния каждого узла отслеживается и сохраняется в системе.

Заключение

Метод RCM во многих случаях оказывается весьма эффективным подходом. Многие из его положений достаточно универсальны и применимы к деятельности большинства предприятий. В то же время не следует забывать, что метод был разработан, в первую очередь, для организаций, где безопасность является главным критерием. В этих отраслях правила следования установленным срокам, правилам и критериям регламентируются фактически законодательно. В большинстве коммерческих отраслей последствия

возникновения большинства отказов носят чисто экономический характер. Это порождает значительную неопределенность в выработке критериев принятия решения о проведении ремонтных работ того или иного агрегата. Для авиации и парков транспортных средств наработана достаточная статистика по отказам и симптомам отказов отдельных узлов. В противовес этому на многих предприятиях конфигурация оборудования уникальна и статистика производителя отсутствует, поскольку объект создавался инженеринговой компанией из изделий от различных поставщиков. Это сильно затрудняет решение задачи ремонта по состоянию, хотя выработка адекватной ремонтной стратегии для различных единиц оборудования вполне оправдана и реалистична.

*Шехватов Дмитрий Борисович — коммерческий директор IFS Russia& CIS.
Контактный телефон (495) 933-52-02.*

РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ АСУ БЭР™ КОМПАКС®

В.Н. Костюков, А.В. Костюков (НПЦ "Динамика")

Представлена структура, функциональность, особенности и возможности АСУ безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования (АСУ БЭР™ КОМПАКС®), разработанной НПЦ "Динамика" (г. Омск).

Ключевые слова: эксплуатация по техническому состоянию, планово-предупредительный ремонт, диагностика, мониторинг, системы поддержки принятия решений

В условиях сложившихся рынков основным источником повышения рентабельности предприятий с непрерывным производственным циклом является снижение эксплуатационных затрат и потерь от аварий и простоев производства, связанных с внезапным выходом из строя технологического оборудования.

Эксплуатационные потери можно сократить до минимума, проводя своевременное и целенаправленное техническое обслуживание на основе мониторинга технического состояния оборудования в реальном времени, используя в полной мере заложенный в оборудовании ресурс и исключив его внеплановую (фактически аварийную) остановку и замену.

Фундаментальной причиной существующих на предприятиях проблем надежности оборудования является низкая степень объективности оценок состояния оборудования в реально протекающих процессах эксплуатации. Данная проблема не позволяет персоналу проводить своевременные и целенаправленные мероприятия по поддержанию производства в высокой степени технической готовности. Ее решение стало возможным благодаря появлению в начале 90-х годов XX столетия автоматических экспертных систем поддержки принятия решений о состоянии оборудования и сроках его вывода в ремонт.

В этот период были разработаны и внедрены более чем на десятке предприятий России АСУ безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования (АСУ БЭР™ КОМПАКС®): на технологических уста-

новках — стационарные системы мониторинга состояния оборудования КОМПАКС®, стационарные системы КОМПАКС®-КСА и персональные системы автоматической диагностики Compac®-micro; в ремонтном производстве — стендовые системы контроля качества ремонта агрегатов и их узлов; в целом на предприятии — компьютерная диагностическая сеть Compac-Net®, позволяющая осуществлять непосредственное управление процессом эксплуатации в реальном времени.

Системы мониторинга состояния оборудования КОМПАКС® позволяют без участия специалистов определять следующие типы неисправностей: нарушение центровки и балансировки; дефекты подшипников качения и скольжения; нарушение режима смазки; гидро-газодинамические проблемы в насосах и компрессорах; состояние торцовых уплотнений; неисправности зубчатых передач; ослабление крепления агрегата к фундаменту и присоединенным конструкциям; нарушение ТП (превышение максимальной загрузки мощностей); неисправности электродвигателей; отслоение плакирующего слоя в реакторах; недопустимые деформации корпусов технологического оборудования; неисправности клапанов и кривошипно-шатунной группы поршневых машин.

Высокая эффективность АСУ БЭР™ КОМПАКС®, которые по современной классификации относятся к системам класса MES управления производством в реальном времени и интегрируются с блоком ТОРО