

## **Методология RCM-анализа**

---

## **Общие положения<sup>1</sup>**

---

**RCM** (Reliability-centered Maintenance – Техническое обслуживание, ориентированное на надежность) методология, позволяющая определить необходимые меры для того, чтобы каждая производственная система (далее – Система) и ее элементы исполняли возложенную на них функцию в рамках производственного процесса.

### **Цель RCM:**

Соблюдение требований надежности и безопасности Системы при обеспечении максимально возможного уровня эффективности за счет формирования оптимальной программы технического обслуживания и ремонтов оборудования (далее – Программа ТОиР).

### **Задачи RCM:**

- Формирование оптимальной Программы ТОиР с акцентом на поддержание самых важных функций Системы и переносом сроков воздействий по техническому обслуживанию на максимально возможный период, при условии соблюдения действующих норм и требований нормативной документации.
- Формирование рекомендаций по проведению технического перевооружения и реконструкции оборудования (в части изменения конструкции оборудования) на основании результатов RCM-анализа.

Реализация задач RCM-анализа осуществляется при помощи информационной системы, обеспечивающей поддержку процесса мониторинга и оценки технического состояния оборудования.

### **Результат RCM:**

- Оптимальная Программа ТОиР;
- Рекомендации по проведению технического перевооружения и реконструкции оборудования.

### **Принципы RCM:**

В рамках внедрения подхода к планированию ТОиР на основе RCM-анализа рассматриваются два блока:

1. Внедрение и запуск системы RCM-анализа в промышленную эксплуатацию на объекте;
2. Регулярное обеспечение проведения RCM-анализа с использованием Информационной Системы;

---

<sup>1</sup> Аналитическая записка основана на методологии RCM 2 в соответствии со стандартами: SAE Standard JA1011 «Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance RCM Processes», SAE Standard JA1012 (Updated, 2002), PAS 55:2008 (и разрабатываемый на его основе ISO 55000)

RCM-анализ осуществляет группа экспертов.

Группы экспертов должны быть сформированы для каждой Системы. Рекомендуемая численность группы в соответствии с методикой RCM-анализа составляет не более десяти человек.

При проведении RCM-анализа эксперты формируют рекомендации и предложения, основанные на действующей нормативной документации, а также руководствуясь собственным профессиональным опытом работы в данной области.

Описание эксплуатационных условий работы, требований к производительности, причин возникновения и последствий отказов должны быть максимально возможно представлены в разрезе количественных показателей.

#### **Этапы проведения RCM-анализа:**

1. Определение условий функционирования Системы;
2. Определение функций Системы;
3. Определение функциональных отказов Системы;
4. Определение причин, видов и последствий функциональных отказов;
5. Принятие решений о воздействиях.

## **1. Определение условий функционирования системы**

---

На данном этапе проведения RCM-анализа осуществляется составление перечня оборудования Системы с детальным описанием его характеристик и условий эксплуатации. Необходимость описания условий функционирования Системы связана с тем, что при различных условиях функционирования даже для объектов, идентичных с технической точки зрения, могут существенно различаться: функции и требования к производительности, виды отказов и результаты последствий отказов, а также оперативные мероприятия в случае отказа.

При описании условий функционирования Системы должны быть учтены следующие факторы:

- Режим работы оборудования;
- Наличие схем резервирования оборудования;
- Требования экологических стандартов, стандартов качества и безопасности;
- Требования к эксплуатационным характеристикам оборудования;
- Возможность проведения ремонта и технического обслуживания, исходя из наличия поставщиков запчастей и инструментов к эксплуатируемому оборудованию;
- Сценарные условия функционирования объекта (план по выработке, прогноз экономических показателей предприятия и пр.).

## 2. Определение функций системы и ее элементов

---

На данном этапе проведения RCM-анализа осуществляется составление полного перечня функций с указанием требований к производительности, и определение основных и вторичных функций.

- Перечень типичных основных функций:
  - Генерация электроэнергии;
  - Передача электроэнергии.
- Перечень типичных *вторичных* функций определяется в разрезе следующих критериев:
  - Обеспечение охраны окружающей среды;
  - Обеспечение безопасности / целостности конструкций;
  - Обеспечение эргономики;
  - Защитные функции;
  - Экономичность / эффективность;
  - Избыточные функции (эстетичность, чистота);
  - Обеспечение пожарной безопасности;
  - Обеспечение физической защиты от влияния третьих лиц.
- Для каждой функции определяются требования к производительности.
- Исходная производительность оборудования, установленная заводом изготовителем всегда должна быть больше уровня, установленного требованиями к производительности.
- Требования к производительности не всегда являются абсолютными значениями, а могут иметь верхний и нижний пределы. Границы в таком случае задаются в соответствии с действующей НД, а также документацией завода-изготовителя оборудования.
- В некоторых случаях требования к производительности являются переменными, например, в случаях, когда производительность зависит от нагрузки или внешних факторов.
- Наиболее подробно необходимо описать функции защитных устройств, так как они не выполняют никаких функций в обычных условиях производственного процесса. Функциями защитных устройств являются действия по предотвращению отказа, смягчению или устранению последствий отказа. Существует следующие типы защитных устройств:
  - Устройства, дающие сигнал тревоги при отклонении параметра от нормы;
  - Устройства, отключающие оборудование в случае отказа;
  - Устройства, устраняющие опасную ситуацию или смягчающие последствия отказа;
  - Устройства, вступающие в действие взамен отказавшего оборудования.

### **3. Определение функциональных отказов и причин их возникновения**

---

На данном этапе проведения RCM-анализа для каждой функции определяются: все возможные отказы, причины отказов, тип распределения вероятности отказа.

#### **1. Определение функциональных отказов и причин их возникновения**

На данном этапе производится определение перечня возможных функциональных отказов, признаков, позволяющих определить факт возникновения отказа, и причин возникновения отказа.

Описывать следует лишь те отказы, которые могут произойти при данных эксплуатационных условиях с достаточно высокой вероятностью. В описание включаются следующие отказы, которые:

- Случались ранее с данным оборудованием. Такие отказы определяются из анализа журнала дефектов оборудования, статистики технологических нарушений и т.д.;
- В настоящий момент предотвращаются с помощью действующих программ технического обслуживания и ремонтов;
- Не проявлялись, но считаются возможными (анализ статистики по другим станциям, статистики из открытых источников, данных завода изготовителя и т.д.).

Если последствия очень серьезны, стоит включить и те отказы, которые не столь вероятны.

#### **2. Определение типа распределения вероятности отказа**

Определение типа распределения вероятности отказа, осуществляется на основании следующих данных:

- Информация по статистике отказов оборудования;
- Информация завода-изготовителя о надежности оборудования;
- Тип оборудования (механическое, электрическое и т.д.);
- Мнение экспертов.

Существуют шесть наиболее распространенных типов распределения вероятности отказа:

- a. Высокая вероятность отказа на начальном этапе эксплуатации, затем незначительный уровень случайных отказов, в конце – зона износа.
- b. Случайные отказы, затем зона износа.
- c. Равномерное увеличение вероятности отказа с увеличением времени эксплуатации.
- d. Резкое увеличение вероятности отказа на начальном этапе эксплуатации, затем стабилизация на уровне случайных отказов.
- e. Случайный отказ. Отсутствие зависимости между сроком эксплуатации и вероятностью отказа оборудования.
- f. Значительная вероятность отказа на начальном этапе эксплуатации, затем случайные отказы.

## 4. Определение возможных последствий отказов

---

На данном этапе проведения RCM-анализа определяются и описываются последствия отказов, определяются виды отказов. Результат каждого отказа должен быть описан исходя из предположения, что никакие меры не предпринимались для предотвращения отказа.

При описании последствий отказа должны быть определены:

- Признаки, указывающие на факт возникновения отказа;
- Условия, при которых происходит отказ;
- Влияние отказа на безопасность людей или окружающей среды;
- Влияние отказа на производство (объемы производства, качество продукции, обслуживание клиентов и производственные расходы);
- Оценка ущерба вследствие возникновения отказа;
- Действия необходимые для приведения системы в рабочее состояние и время необходимое для их реализации.

## 5. Принятие решений о возможных воздействиях

---

На данном этапе проведения RCM-анализа осуществляется определение типа воздействия, которое необходимо применить для предотвращения возникновения отказа, определение признаков, по которым можно определить скорое наступление отказа, определение периодичности проведения воздействий.

### 1. Определение необходимого воздействия

Для выбора необходимого воздействия используют «**Диаграмму принятия решений**» (**Диаграмма 1**). Схема работает в логике «Да» и «Нет». По горизонтали схема разделена по группам отказов. Существуют четыре группы отказов:

1. Скрытые отказы;
2. Отказы, влияющие на безопасность людей и окружающую среду;
3. Отказы, влияющие на производственный процесс;
4. Отказы, не влияющие на производство.

Группы отказов в «Схеме принятия решений» расположены по степени важности, слева направо. В RCM самыми важными считаются скрытые отказы, идти по схеме необходимо начинать с них. Сначала, исходя из результатов описания возможных последствий отказов и из указанных в схеме критериев, определяется тип отказа. После определения типа отказа, рассматриваются воздействия, которые возможно применить для снижения вероятности отказа до допустимого уровня. Рассмотрение воздействий проводится в строго определенном порядке. Для принятия решения о применении воздействия оно должно быть:

1. *выполнимо;*
2. *целесообразно.*

*Выполнимость* обслуживания оборудования по техническому состоянию определяется исходя из:

- Существования признаков, по которым однозначно можно определить скорое наступление отказа;
- Периода развития отказа (Интервала Р-Ф);
- Степени постоянства интервала Р-Ф;
- Возможности выполнения обслуживания с интервалами меньшими интервала Р-Ф.

*Выполнимость* планового восстановления оборудования определяется исходя из:

- Существования периода работы оборудования, на котором наблюдается резкое повышение вероятности отказа;
- При условии существования такого периода, его определение.

*Выполнимость* обнаружения скрытого отказа определяется исходя из:

- Возможности проверки наличия скрытого отказа (например, обнаружение отказа защитных устройств);
- Возможности проверки наличия скрытого отказа с требуемым интервалом;
- Возможности изменения конструкции оборудования для предотвращения возникновения скрытого отказа. При принятии решения об изменении конструкции оборудования, необходимо определить влияние множественных отказов, вызванных рассматриваемым скрытым отказом на безопасность и окружающую среду.

*Целесообразность* применения воздействия определяется исходя из следующих факторов:

1. Применение данного воздействия обеспечивает снижение вероятности отказа (множественных отказов, для случая скрытых отказов) до допустимого уровня.
2. В результате воздействия возможные последствия соответствующего отказа, уменьшаются в достаточной степени, что бы оправдать прямые и не прямые издержки выполнения этого воздействия.

Если рассматриваемое воздействие не удовлетворяет хотя бы одному из этих требований, то переходят к рассмотрению следующего.

## **2. Определение периодичности воздействий**

1. *Определение периодичности обслуживания оборудования по техническому состоянию.* Периодичность обслуживания оборудования определяется экспертной группой исходя из оценки последствий отказов и параметров интервала Р-Ф.
2. *Определение периодичности планового восстановления или замены оборудования.* Определяется время, по прошествии которого, наблюдается резкое увеличение условной вероятности отказа оборудования (*срок службы*). Срок службы определяется из распределения вероятности отказов, статистики прошлых отказов или данных завода изготовителя. Плановое ТО рекомендуется проводить непосредственно перед истечением срока службы.

3. *Определение периодичности выполнения работ по поиску скрытого отказа.*  
Периодичность выполнения работ по поиску скрытого отказа определяется исходя из анализа статистики возникновения скрытого отказа, оценки условной вероятности возникновения скрытого и множественного отказа, оценки возможных последствий и издержек.

На данном этапе производится свод и взаимоувязка полученных при проведении RCM-анализа результатов и формирование на их основе оптимизированных графиков ТОиР и предложений по внесению изменений в Программу ТПиР.

При формировании графиков ТОиР должно учитываться, что периодичность воздействий не должна противоречить существующей НТД. Если временные промежутки между воздействиями больше, чем указанные в НТД, то за основу должны быть приняты последние.

### Последствия скрытых отказов

### Последствия для безопасности людей и окружающей среды

### Производственные последствия

### Последствия, не связанные с работой

**Н** Заметит ли обслуживающий персонал при обычных условиях отсутствие функций, вызванное данным видом отказа?

**S** Вызывает ли этот вид отказа потерю функций или/и другие повреждения, которые могут привести к травмам или даже смерти?

**E** Вызывает ли этот вид отказа потерю функций или/и другие повреждения, которые могут привести к нарушению известных экологических норм и стандартов?

**O** Оказывает ли данный вид отказа непосредственное отрицательное влияние на производственные показатели (производительность, качество продукта, обслуживание клиентов или текущие расходы в дополнение к непосредственной стоимости ремонта)?

**N1** Является ли обслуживание по техническому состоянию технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?

**Н1** Является ли обслуживание по техническому состоянию технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Существует ли четко определенный потенциально возможный отказ? Каков интервал P-F? Является ли интервал P-F достаточно длительным, чтобы иметь практическое значение? Постоянен ли он? Можно ли выполнять задания с интервалами, меньшими, чем интервал P-F?

**S1** Является ли обслуживание по техническому состоянию технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Существует ли четко определенный потенциально возможный отказ? Каков интервал P-F? Является ли интервал P-F достаточно длительным, чтобы иметь практическое значение? Постоянен ли он? Можно ли выполнять задания с интервалами, меньшими, чем интервал P-F?

**O1** Является ли обслуживание по техническому состоянию технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Существует ли четко определенный потенциально возможный отказ? Каков интервал P-F? Является ли интервал P-F достаточно длительным, чтобы иметь практическое значение? Постоянен ли он? Можно ли выполнять задания с интервалами, меньшими, чем интервал P-F?

**N1** Является ли обслуживание по техническому состоянию технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Существует ли четко определенный потенциально возможный отказ? Каков интервал P-F? Является ли интервал P-F достаточно длительным, чтобы иметь практическое значение? Постоянен ли он? Можно ли выполнять задания с интервалами, меньшими, чем интервал P-F?

Да: Выполните обслуживание по техническому состоянию

**Н2** Является ли задание по плановому восстановлению технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Есть ли этап срока службы, на котором наблюдается резкое повышение условной вероятности отказа? Какой? Происходит ли основная масса отказов после этого этапа срока службы? Сможет ли выполнение задания по восстановлению вернуть первоначальную отказоустойчивость?

**S2** Является ли задание по плановому восстановлению технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Есть ли этап срока службы, на котором наблюдается резкое повышение условной вероятности отказа? Какой? Происходят ли все отказы после этого этапа срока службы? Сможет ли выполнение задания по восстановлению вернуть первоначальную отказоустойчивость?

**O2** Является ли задание по плановому восстановлению технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Есть ли этап срока службы, на котором наблюдается резкое повышение условной вероятности отказа? Какой? Происходит ли основная масса отказов после этого этапа срока службы? Сможет ли выполнение задания по восстановлению вернуть первоначальную отказоустойчивость?

**N2** Является ли задание по плановому восстановлению технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Есть ли этап срока службы, на котором наблюдается резкое повышение условной вероятности отказа? Какой? Происходит ли основная масса отказов после этого этапа срока службы? Сможет ли выполнение задания по восстановлению вернуть первоначальную отказоустойчивость?

Да: Выполните задание по плановому восстановлению

**Н3** Является ли задание по плановой замене технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Есть ли этап срока службы, на котором наблюдается резкое повышение условной вероятности отказа? Какой? Происходит ли основная масса отказов после этого этапа срока службы?

**S3** Является ли задание по плановой замене технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Есть ли этап срока службы, на котором наблюдается резкое повышение условной вероятности отказа? Какой? Происходит ли основная масса отказов после этого этапа срока службы?

**O3** Является ли задание по плановой замене технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Есть ли этап срока службы, на котором наблюдается резкое повышение условной вероятности отказа? Какой? Происходит ли основная масса отказов после этого этапа срока службы?

**N3** Является ли задание по плановой замене технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Есть ли этап срока службы, на котором наблюдается резкое повышение условной вероятности отказа? Какой? Происходит ли основная масса отказов после этого этапа срока службы?

Да: Выполните задание по плановой замене

**Н4** Является ли выполнение работ по поиску скрытого отказа технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Существует ли возможность проверки на наличие отказа? Является ли практически возможным выполнение данного задания с требуемым интервалом?

**S4** Является ли комбинация указанных выше заданий технически осуществимой, и стоит ли их выполнять?

**O3** Является ли задание по плановой замене технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Будет ли стоимость данного задания (за некоторый период времени) меньше стоимости, связанной с последствиями отказа, плюс стоимость работ по устранению отказа, который должно предотвратить данное задание?

**N3** Является ли задание по плановой замене технически осуществимым, и стоит ли его выполнять?  
Будет ли стоимость выполнения данного задания (за некоторый период времени) меньше стоимости ремонта для устранения отказов, которые должно предотвратить данное задание?

Да: Выполните работы по поиску скрытого отказа

Да: Выполните комбинацию заданий

Нет: Нет запланированного технического обслуживания

Нет: Нет запланированного технического обслуживания

Да: Изменение конструкции обязательно

Нет: Изменение конструкции обязательно

Нет: Может быть желательным изменение конструкции

Нет: Может быть желательным изменение конструкции

Нет: Нет запланированного технического обслуживания

Может быть желательным изменение конструкции

## Перечень документации для RCM-анализа

Таблица 1

| №  | Документ   | Требуемое содержание из документа   |
|----|--|---|
| 1. | Паспорт оборудования                                   | Эксплуатационные характеристики оборудования  |
|    |  | Информация о надежности оборудования  |
|    |  | Сведения о ремонтах оборудования  |
| 2. | Эксплуатационная документация                          | Перечень оборудования Системы, характеристик и условий его эксплуатации   |
|    |  | Сведение о режимах эксплуатации оборудования  |
| 3. | Нормативная документация                               | Требования экологических стандартов, стандартов качества и безопасности   |
|    |  | Требования действующей НД к оборудованию  |
| 4. | Журнал дефектов аварий/статистика отказов              | Информация по статистике отказов оборудования   |
| 5. | База технических решений                               | База технических решений  |
| 7. | План производства.<br>Производственная программа и др. | Сценарные условия функционирования объекта (план по выработке, прогноз экономических показателей предприятия и пр.) |