



Методика приоритизации объектов обслуживания на основе оценки критичности отказов

Submitted 27.06.18
Accepted **08.18

Несмотря на значительное число публикаций по методологии RCM, зачастую возникают трудности с её пониманием и использованием. Дано краткое описание сути методологии RCM согласно стандарту SAE JA 1011:2009. В целях снижения трудоёмкости RCM представлен подход, согласно которому начинать RCM необходимо с приоритизации оборудования. Описана методика приоритизации, основанная на оценке риска отказа с использованием рекомендаций стандарта IEC 60812:2006. Она включает в себя последовательную приоритизацию агрегатов, систем и узлов и заканчивается выявлением критичных узлов, в отношении которых проводится полный RCM-анализ. При этом менее критичные узлы, системы и агрегаты могут быть подвергнуты повторной приоритизации и RCM-анализу после уменьшения риска отказа наиболее критичных узлов. Следование этой методике позволит сосредоточить ресурсы на наиболее критичном оборудовании и начать выполнять этапы RCM-анализа наиболее эффективным образом.

I. N. Antonenko

Risk Based Prioritization Technique of Maintenance Objects

Важным инструментом разработки эффективных программ технического обслуживания является методология RCM. В статье представлена методика ранжирования рисков отказов оборудования, которая используется для определения приоритетов при проведении RCM-анализа.

Keywords: Reliability Centered Maintenance / RCM, prioritization of equipment, failure risk

**АНТОНЕНКО
Игорь Николаевич**

Начальник отдела
маркетинга

ООО «НПП «СпецТек»,
Санкт-Петербург, к.т.н.



В текущем году исполняется 40 лет с тех пор, как Стэнли Ноулан и Говард Хип в своём основополагающем исследовании [1] представили методологию RCM (Reliability Centered Maintenance). Их идея состояла в том, что правила обслуживания оборудования должны определяться последствиями отказа, а не только природой и параметрами самого отказа. Аналогичную идею мы находим у отечественных специалистов по надёжности в публикации того времени [2].

Затем существенный вклад в развитие и популяризацию RCM внёс Джон Мубрей [3]. К настоящему времени накопился значительный массив публикаций, посвящённых RCM, включая книги [4–6]. Разработаны соответствующие международные и национальные стандарты, как за рубежом [7–9], так и в России [10, 11]. Развивается практика успешного применения RCM в России [12, 13].

Введение в RCM

Несмотря на весьма зрелый возраст, методология RCM остаётся покрытой завесой сложности. Возникли и некоторые заблуждения. Например, встречается утверждение, что RCM — это стратегия

технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Чтобы убедиться в ошибочности этого, обратимся к стандарту [10].

В нём дан русскоязычный аналог RCM — надёжно-ориентированное техническое обслуживание (НОТО). И определено, что НОТО (RCM) представляет собой методологию выявления и выбора политик управления отказами. Политика управления отказами может включать в себя действия по техническому обслуживанию, изменения правил эксплуатации, конструктивные доработки и другие действия, нацеленные на ослабление последствий отказов, которые в стандарте [11] названы раз-

ными преобразованиями. К ним также относятся изменение методов, используемых при выполнении определенной работы ТОиР, изменение способностей персонала (обучение).

Таким образом, RCM это не какая-то стратегия ТОиР. Это методология выявления и выбора политик управления отказами и формирования из них программы работ, сочетающей различные стратегии ТОиР и разовые преобразования, и отвечающей профилю рисков, связанных с отказами.

Процесс RCM [7] представляет собой «7 шагов RCM» (рис. 1), содержание которых состоит в следующем:



Рис. 1. Результаты выполнения семи этапов RCM-процесса

1. Провести функциональный анализ и выявить выполняемые оборудованием функции. Определить требования к выполнению каждой функции в данных условиях эксплуатации, отклонение от которых считается отказом, включая требования к безопасности и экологии (стандарт производительности). Пример функции: производство сжатого воздуха компрессором с производительностью 2 м³/мин.
2. Определить, что является функциональным отказом в отношении каждой функции оборудования. Примеры функциональных отказов: а) компрессор не выдает сжатый воздух; б) компрессор выдает сжатый воздух с производительностью 1 м³/мин.
3. Определить причины каждого функционального отказа (виды отказа) с обязательным выявлением первопричины. Техника «Пять почему», разработанная в рамках производственной системы корпорации «Тойота», решает эту непростую задачу.
компрессор не выдает сжатый воздух — почему?
не работает электродвигатель компрессора — почему?
работала защита по току статора — почему?
разрушился подшипник электродвигателя — почему?
подшипник был заполнен избыточным количеством пластической смазки — почему?
вновь принятый работник нарушил нормы смазывания.
4. Определить каковы последствия каждого функционального отказа. Например, в случае отказа «компрессор не выдает сжатый воздух» последствия могут быть следующими: не работает пневмоинструмент, продукция не выпускается, последствий для безопасности и экологии нет.
5. Определить критичность каждого функционального отказа. Для этого необходимо количественно оценить последствия отказа и частоту (вероятность) их возникновения. Допустим, в нашем случае происходит остановка производства производства для перехода на резервный компрессор, и образуется недовыпуск продукции на соответствующую сумму.
6. Выработать применимую и эффективную стратегию ТОиР в отношении каждого отказа. Стратегия считается применимой, если она способна

снизить критичность данного отказа (уменьшить вероятность отказа и /или его последствия), и эффективной, если затраты на её реализацию менее значимы, чем последствия отказа. В нашем случае применимой и эффективной стратегии ТОиР нет.

7. Определить, возможны ли эффективные разовые преобразования. В нашем случае применимой будет политика управления отказом «обучение персонала» — организация на постоянной основе курсов по правилам смазывания механизмов и использованию смазок для вновь набираемого персонала. Эта политика будет эффективной, если затраты на обучение окажутся меньше потерь из-за недовыпуска продукции при отказах компрессора.

Полный RCM-анализ в отношении всего технологического оборудования — очень трудоёмкий и длительный процесс. Он откладывает внедрение оптимальных программ работ и получение эффекта. Далеко не каждый руководитель готов к длительному проекту, со значительной загрузкой персонала и туманными перспективами. Именно это в значительной степени сдерживает внедрение RCM.

Мы рекомендуем при проведении RCM устанавливать разумные пределы. Хорошим инструментом здесь является принцип Парето, который гласит: 80% проблем являются следствием 20% причин. В нашем случае это означает, что нужно выделить ≈ 20% оборудования, приносящего львиную долю (≈ 80%) тяжести последствий отказов.

Иначе говоря, стандартным семи шагам RCM должна предшествовать приоритизация. Она позволяет выявить наиболее критичные элементы оборудования, сосредоточить на них внимание и ограниченные ресурсы, и быстрее достичь значимого эффекта от RCM.

Конечно, ещё раньше должен быть сформирован перечень основного технологического оборудования, проведена паспортизация, систематизирована информация о выполняемых работах по ТОиР, накоплены достоверные данные по затратам на ТОиР (как плановым, так и фактическим), собрана статистика по дефектам, отказам и их последствиям, по простоям с указанием их причин. Эти задачи решаются посредством внедрения и использования информационной системы управления ТОиР (ИСУ ТОиР). Разработка, внедрение и эксплуатация ИСУ ТОиР — это особая тема, которая

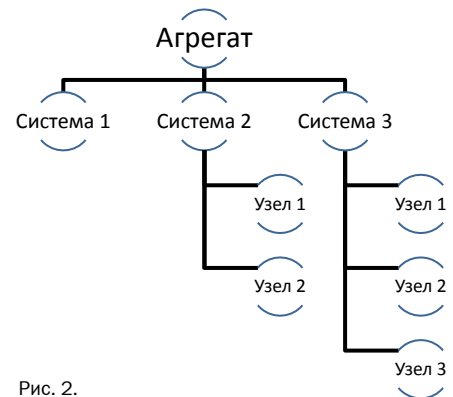


Рис. 2.

находится за рамками данной статьи. Ранее она достаточно подробно освещалась [14, 15].

Принципы приоритизации оборудования

Для проведения приоритизации необходимо разделить оборудование на агрегаты, агрегаты на системы, а системы на узлы (рис. 2). Здесь мы, совместно с экспертами заказчика, применяем следующий подход:

- идентифицируем агрегаты, проводим приоритизацию агрегатов;
- только критичные агрегаты разделяем на системы, проводим приоритизацию систем;
- только критичные системы разделяем на узлы, проводим приоритизацию узлов;
- проводим RCM-анализ только критичных узлов, RCM-анализ агрегатов и систем не проводится.

Идентификация агрегатов осуществляется с использованием качественного и количественного признаков. Качественный признак:

- агрегат — это отдельно стоящая в цеху крупная единица оборудования, решающая определённую производственную задачу;
- агрегат либо добавляет ценность в производственном процессе (основной агрегат), либо способствует этому (вспомогательный агрегат).

Количественный признак: в цеху может быть ориентировочно от 10 до 100 агрегатов. Примеры агрегатов: компрессор, кран, конвейер, трансформатор.

Для идентификации систем используем функциональный признак: система — это часть агрегата, выполняющая независимую функцию. Проводим функциональный анализ агрегата, идентифицируем функции его систем, идентифицируем сами системы. Полезен и количественный признак: в агрегате может быть примерно от 5 до 20 систем.

Одна система может включать разные виды оборудования (механическое, энергетическое). Примеры систем: система электроснабжения, система привода, система охлаждения, механизм подъёма, металлоконструкции агрегата.

Для разбиения систем на узлы исходим из того, что узел — это часть системы, которую можно заменить при ремонте. Количество узлов в системе, ориентировочно, от 5 до 15. Примеры узлов: электродвигатель, редуктор, гидроцилиндр.

Чтобы приоритизировать оборудование, необходимо отранжировать его в порядке убывания индекса критичности отказов, а потом идентифицировать объекты, вошедшие в верхнюю часть списка. В качестве индекса критичности используем *RPN* (Risk Priority Number) — значение приоритетности риска, рекомендуемое стандартом [16]: $RPN = SOD$, где *S* — тяжесть последствий отказа данной единицы оборудования; *O* — вероятность отказа этого оборудования в течение определённого периода времени; *D* — вероятность, что отказ не будет обнаружен до проявления его последствий.

Множители, входящие в *RPN*, определяются как ранг по шкале от 1 до 5 или от 1 до 10, а не как фактическое значение вероятности или тяжести последствий.

Ранг вероятности отказа *O* устанавливаем пропорционально частоте отказов данного оборудования (число отказов в сутки, в неделю, в месяц, в год). Эти данные должны накапливаться в ИСУ ТОиР по ходу эксплуатации оборудования. Если же статистики отказов нет или она неполная, привлекаются специалисты предприятия по направлениям, хорошо знакомые с работой данного оборудования — механики, электрики, гидравлики, технологи. Их экспертные оценки используют при определении величины *O*.

Для определения тяжести последствий отказа *S* учитываем категории последствий согласно [7, 16]:

- последствия для безопасности (отказ может повлечь гибель или травмы людей);
- экологические последствия (отказ может нанести вред окружающей среде);
- производственные последствия (отказ влияет на выполнение оборудованием своих функций и может повлечь снижение производительности и/или качества);
- экономические последствия (последствия отказа проявляются только в повреждении оборудования и вы-

ражаются в необходимых затратах на ремонт).

Последствия могут выражаться различными сочетаниями указанных категорий. Источником данных по последствиям отказов также может служить ИСУ ТОиР, а для их уточнения при проведении RCM-анализа также привлекаются специалисты предприятия по направлениям.

Шкалу величин, входящих в *RPN*, выберем из следующих соображений. Отказы систем или узлов происходят гораздо чаще, чем отказы агрегатов, так как отказ системы или узла может не приводить к отказу агрегата. Поэтому разброс частоты отказа систем и узлов значительно шире, чем у агрегатов.

Системы и узлы имеют также широкий разброс последствий отказа: от полного сохранения работоспособности агрегата/системы до снижения уровня выполнения основной или вспомогательной функции агрегата/системы, или полного отказа основной или вспомогательной функции без последствий для безопасности или с таковыми.

В этой связи шкалу от 1 до 10 используем для расчета *RPN* систем и узлов, а шкалу от 1 до 5 — для расчета *RPN* агрегатов.

Приоритизация агрегатов

Приведём пример приоритизации агрегатов. На уровне агрегатов используем сокращённое выражение для расчёта *RPN*, рекомендованное [16]: $RPN = SO$.

Исключение из расчёта величины *D* связано с тем, что средства обнаружения (предсказания) отказов применяются на уровне систем и узлов, а не на уровне агрегатов.

Величину *S* определим следующим образом:

$$S = (1 + H + E)(S_1 + S_2),$$

где *H* — ранг последствий для безопасности людей (Health); *E* — ранг экологических последствий (Environment); *S*₁ — ранг производственных последствий; *S*₂ — ранг экономических последствий.

Последствия для безопасности людей и экологические последствия будем считать неприемлемыми независимо от их масштаба. Поэтому для *H* и *E* установим короткую шкалу ранга от 0 до 1 и будем присваивать соответствующий ранг следующим образом: 0 — соответствующие последствия отказа агрегата отсутствуют, 1 — отказ агрегата может привести к нарушению нормативных требований по охране труда или окружающей среды, к причинению вреда

здоровью людей или выбросу (утечке) опасных веществ.

Если *H* и/или *E* окажутся равными единице, то значение *S* увеличится в разы, а значит во столько же увеличится индекс критичности *RPN*. Это соответствует принятому допущению о неприемлемости последствий для безопасности людей и экологических последствий. Для определения значений *H* и *E* должны быть привлечены специалисты по охране труда и промышленной безопасности (экологии) предприятия.

Пусть в некотором цеху идентифицированы *K*_{агр} агрегатов, $K_{агр} = 1...10$. Ранг вероятности отказа *O* для каждого агрегата определим исходя из числа его отказов в год *N*.

Величину *S*₁ для каждого агрегата определим исходя из накопленной за год длительности внеплановых простоев данного агрегата по причине отказов *T* [час], а *S*₂ — исходя из объёма средств *Q* [млн.руб.], затраченных за год на устранение его отказов.

Сведем данные по всем 10 агрегатам в таблицу и упорядочим их в порядке убывания числа отказов, времени внеплановых простоев и затрат на ремонт (табл. 1).

Руководствуясь принципом Парето, выделим 20% позиций в верхней части списка (ТОП20) и присвоим им высший ранг — 5. Граница отсечения верхней части списка (20%) не является жёстко заданной. Привлекаемые эксперты могут понизить эту границу и установить другое значение соответствующего параметра, начиная с которого присваивается ранг 5, например, как это сделано в колонке «*Q*» табл. 1.

Оставшимся позициям присвоим ранг от 1 до 4 по линейной шкале. Для этого ниже значение ТОП20 следует разделить на четыре (например, $60:4 = 15$), чтобы получить шаг шкалы

Табл. 1. Ранжирование агрегатов по частоте и последствиям отказов

<i>K</i> _{агр}	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>K</i> _{агр}	<i>T</i>	<i>S</i> ₁	<i>K</i> _{агр}	<i>Q</i>	<i>S</i> ₂
№	отказ/год	—	№	час/год	—	№	млн.руб.	—
4	73	5	1	41	5	1	150	5
1	60	5	4	32	5	9	132	5
2	58	4	3	27	4	2	112	5
5	50	4	2	19	3	3	87	4
3	33	3	5	18	3	6	60	3
8	20	2	7	11	2	5	42	2
10	18	2	9	9	2	4	12	1
7	9	1	10	4	1	8	10	1
9	1	1	8	3	1	7	6	1
6	1	1	6	0,5	1	10	5	1

и установить соответствие, как это сделано в табл. 2.

Учтём значения H и E для каждого агрегата, и определим значения RPN . Затем отранжируем агрегаты в порядке убывания RPN , как показано в табл. 3.

Снова применим принцип Парето и выделим 20% позиций в верхней части списка. Таким образом, результатом приоритизации является идентификация двух критичных агрегатов — это Агрегат 1 и Агрегат 2.

Далее Агрегат 1 и Агрегат 2 должны быть разделены на системы и должна быть проведена приоритизация систем этих агрегатов. Продемонстрируем это на примере.

Приоритизация систем и узлов

Будем использовать полное выражение для расчета RPN и единую шкалу рангов от 1 до 10 для всех систем указанных агрегатов. Воспользуемся рекомендациями стандартов и сформируем шкалу для величин, входящих в выражение для RPN , как это сделано в табл. 4–6.

Табл. 2. Формирование шкалы для ранжирования агрегатов

O	N	T	Q
-	отказ/год	час/год	млн.руб.
4	45–59	24–31	84–111
3	30–44	16–23	56–83
2	15–29	8–15	28–55
1	0–14	0–7	0–27

Табл. 3. Ранжирование агрегатов по величине RPN

K_{agr}	H	E	O	S_1	S_2	RPN
1	1	0	5	5	5	100
2	1	1	4	3	5	96
4	1	0	5	5	1	60
5	1	1	4	3	2	60
3	1	0	3	4	4	48
9	1	1	1	2	5	21
6	1	1	1	1	3	12
8	1	0	2	1	1	8
10	0	0	2	1	1	4
7	0	0	1	2	1	3

Табл. 5. Шкала вероятности отказов систем

Категория частоты	Частота отказа	O
частый отказ	1 раз в сутки и чаще	10
	1 раз в 2–5 суток	9
вероятный отказ	1 раз в 6–7 суток	8
	1 раз в 8–10 суток	7
возможный отказ	1 раз в 11–30 суток	6
	1 раз в 31–100 суток	5
редкий отказ	1 раз в 101–200 суток	4
	1 раз 201–400 суток	3
	1 раз 401–1000 суток	2
невероятный отказ	1 раз 1001–2000 суток и реже	1

Если в ИСУ ТОиР корректно ведётся статистика отказов с привязкой к системам и с указанием их последствий, то эти данные будут очень полезны для формирования табл. 4. В любом случае привлекаются специалисты предприятия, хорошо знакомые с работой и отказами Агрегата 1 и Агрегата 2, как минимум для верификации полученной шкалы рангов. Такие специалисты должны обладать достаточными знаниями, чтобы дать экспертную оценку возможных последствий отказов систем.

Для формирования табл. 5 нужна информация о минимальном и максимальном значении наблюдаемой частоты отказов систем, находящихся в эксплуатации. Соответственно, минимальной частоте отказов ставится

в соответствие ранг 1, а максимальной — ранг 10. Допустим, по наблюдениям персонала предприятия или по данным ИСУ ТОиР у какой-то системы зафиксированы самые интенсивные отказы с частотой примерно 1 раз сутки, а у какой-то — самые редкие отказы с частотой 1 раз в 6 лет.

Примем 1 сутки в качестве интервала, в течение которого оценивается вероятность отказа, и интерпретируем рекомендации стандарта [16]. Тогда получим, что следующим категориям отказов соответствует следующая частота отказов:

- частый отказ — 1 раз в 5 суток и чаще;
- вероятный отказ — 1 раз в 10 суток и чаще;
- возможный отказ — 1 раз в 100 суток и чаще;

Табл. 4. Шкала тяжести последствий отказов систем

Последствия отказа		S
Влияние на безопасность агрегата, высокий риск получения обязательных предписаний надзорных органов и привлечения к ответственности	создает угрозу здоровью и жизни людей, причинения существенного вреда окружающей среде	10
	влечет нарушение требований законодательства о промышленной безопасности	9
Агрегат неработоспособен, выпуск продукции невозможен. Влияния на безопасность и экологию нет		8
Агрегат работоспособен	снижена производительность	7
	работает со значительным отклонением от технологии производства и с потерей качества	6
	работает с незначительными: отклонением от технологии производства и снижением качества продукции	5
Агрегат полностью работоспособен, но целостность, шумность и вибрация агрегата не соответствует требованиям и это замечают:	более 75% эксплуатационного персонала	4
	около 50% эксплуатационного персонала	3
	менее 25% эксплуатационного персонала	2
Последствий нет.		1

Табл. 6. Шкала вероятности обнаружения отказов систем

Категория возможности	Возможность обнаружения отказа	D
недостаток контроля	Контроль не предусмотрен, не производится или не позволяет обнаружить отказ, результаты контроля не регистрируются и не анализируются	10
	Контроль проводится несистематически, маршруты обходов и операции контроля не определены или не выполняются в полном объеме	9
контроль при остановке	Контроль возможен только при остановленном агрегате (остановка на ремонт или технологическая остановка)	8
контроль без остановки	Контроль возможен без остановки агрегата и производится субъективно (визуально, тактильно, на слух) без специальных инструментов	7
	Контроль возможен без остановки агрегата и производится персоналом с использованием специальных инструментов количественной оценки	6
автоматическая система контроля и сигнализации	Контроль осуществляет автоматика, которая извещает персонал соответствующим сигналом об обнаружении отказа системы	5
	По отдельным параметрам системы автоматика осуществляет контроль и автоматическую блокировку узлов с потенциальным отказом	4
автоматическая система контроля и блокировки	По всем основным параметрам системы автоматика осуществляет контроль и автоматическую блокировку узлов с потенциальным отказом	3
	Автоматика выявляет причины всех потенциальных отказов системы и блокирует их, не допуская потенциального отказа	2
гарантированная безотказность	Автоматика предотвращает причины всех потенциальных отказов	1

- редкий отказ — 1 раз в 1000 суток и чаще;
- невероятный отказ — реже 1 раза в 1000 суток.

Сформируем табл. 5, предусмотрев дополнительную градацию частоты отказов.

При формировании табл. 6 учитывают наличие/отсутствие технических средств и операций контроля (приборы и системы, выполняющие защитную функцию, обходы, техническая диагностика), позволяющих обнаружить явление и развитие потенциального отказа до проявления его последствий и за время, достаточное для предотвращения отказа (P-F-интервал). Таким образом, вместо фактической вероятности обнаружения, отказы ранжируют по наличию возможности их обнаружения.

Поскольку *S*, *O* и *D* изменяются в пределах 1–10, величина *RPN* будет изменяться от 1 до 1000. Руководствуясь правилом Парето, установим, что критичными являются верхние 20% диапазона величин *S*, *O* и *D*. Это соответствует их значениям от 8 до 10. Таким образом, критичными в нашем анализе будут значения *RPN* от $8 \times 8 \times 8 = 512$ до $10 \times 10 \times 10 = 1000$. С некоторым запасом установим нижнюю границу критичности на уровне *RPN* = 500, а диапазон ниже 500 разделим на две равные части: некритичные (от 1 до 249) и умеренно критичные (от 250 до 499). Такую шкалу *RPN* можно представить так, как показано на рис. 3.



Рис. 3. Шкала приоритетности риска RPN

Предположим, что в составе Агрегата 1 идентифицированы 10 систем. Условно назовем их «Система 1», «Система 2» и т.д. Определим значения *S*, *O*, *D* и *RPN* для каждой системы, руководствуясь сформированными выше шкалами. При этом также будем руководствоваться следующим:

- величину *S* необходимо определять исходя из наихудшего из возможных сценариев последствий отказа данной системы;
- при определении *O* необходимо учитывать даже те отказы системы, которые не имеют последствий (*S* = 1);
- при определении величины *D* необходимо учитывать не только возможность обнаружения потенциального отказа, но и скорость его развития: если после обнаружения будет недостаточно времени для предотвращения отказа, то *D* = 10.

После расчета *RPN* упорядочим все системы Агрегата 1 в порядке убывания *RPN*. В этом случае получим результат, похожий на табл. 7.

Из табл. 7 следует, что критичными являются отказы Системы 2, Системы 3 и Системы 5, умеренно критичными — отказы Системы 4 и Системы 8, а не критичными — отказы остальных систем Агрегата 1. В этой связи далее необходимо:

- разделить Системы 2, 3 и 5 на узлы, провести приоритизацию узлов путём расчёта *RPN* и с использованием шкал, аналогичных приведённым в табл. 4–6 (вместо агрегата в таблицах должна фигурировать система, а вместо системы — узел),
- детально проанализировать отказы выявленных критичных узлов по методу RCM: найти первопричины каждого отказа, выработать политики управления отказом, выбрать наиболее эффективную политику, обеспечивающую быстрое улучшение, то есть пройти по семи шагам RCM, представленным на рис. 1;
- провести выборочный поиск первопричин отказов Системы 4 и Системы 8 без полного разделения на узлы, выработать политики управления рассмотренными отказами;
- дальнейший анализ Систем 1, 6, 7, 9 и 10 на данном этапе не проводить.

Аналогичную приоритизацию систем и узлов следует провести для второго критичного агрегата — для Агрегата 2.

Цикличность и непрерывное улучшение

Выбранные политики управления отказами должны привести к снижению *S*, *O* или *D* соответствующих узлов, либо одновременно двух или всех трёх перечисленных составляющих *RPN*. В свою очередь, это приведёт к уменьшению *RPN* критичных и умеренно критичных систем, а также к уменьшению *RPN* Агрегата 1 и Агрегата 2.

После этого необходимо провести повторно приоритизацию, повторить

Табл. 7. Ранжирование систем Агрегата 1 по величине *RPN*

№№	S	O	D	RPN
Система 5	10	9	8	720
Система 2	9	7	10	630
Система 3	9	7	9	567
Система 8	8	6	8	384
Система 4	7	5	8	280
Система 1	6	5	6	180
Система 9	6	5	5	150
Система 10	4	3	5	60
Система 6	4	3	4	48
Система 7	1	2	4	8

весь описанный выше алгоритм и семь шагов RCM на более низком уровне рисков. Не существует принципиальных ограничений количества таких циклов.

Цикличность позволит также оценивать эффективность принятых ранее решений и производить их пересмотр, обеспечивая выполнение принципа непрерывного улучшения.

Литература

1. Nowlan F.S., Heap H.F. Reliability-centered Maintenance. — San Francisco: Dolby Access Press, 1978. — 466 p.
2. Нейман В.Г., Шапиро Б.В. Оценка критичности отказов технических устройств. — Надежность и контроль качества. 1975. №10. С. 49–51.
3. Moubray J. Reliability-centered Maintenance. Second Edition. — NY: Industrial Press Inc, 1997. — 426 p.
4. Neil B. Bloom. Reliability Centered Maintenance: Implementation Made Simple. — NY: McGraw-Hill, 2005. — 291 p.
5. Ефремов Л.В. Проблемы управления надежностью — ориентированной технической эксплуатацией машин. — СПб: Art-Xpress, 2015. — 206 с.
6. Sifonte J.R., Reyes-Picknell J.V. Reliability Centered Maintenance — Reengineered: Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R. — CRC Press, 2017. — 349 p.
7. SAE JA 1011:2009. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes.
8. SAE JA 1012:2011. A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard.
9. IEC 60300-3-11:2009. Dependability Management — Part 3–11: Application guide — Reliability centered maintenance.
10. ГОСТ Р 27.606–2013. Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность. — М.: Стандартинформ, 2014. — 34 с.
11. ГОСТ Р 55.0.05–2016. Управление активами. Повышение безопасности и надежности активов. Требования. — М.: Стандартинформ, 2016. — 10 с.
12. Антоненко И.Н., Беляков М.И. Об одной надежности задаче и ее решении в информационной системе. — Автоматизация в промышленности. 2015. №8. С.18–21.
13. Иорш В.И., Крюков И.Э., Антоненко И.Н. Управление ремонтами, ориентированное на надежность. — Промышленность и безопасность. 2011. №7. С. 50–53.
14. Кац Б.А., Молчанов А.Ю. Управление производственными активами с помощью современных информационных технологий. — Автоматизация в промышленности. 2014. №8. С. 39–45.
15. Кац Б.А. Взаимодействие информационной системы ТОиР с другими АСУ предприятия. — Автоматизация в промышленности. 2013. №8. С. 43–46.
16. ГОСТ Р 51901.12–2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. — М.: Стандартинформ, 2008. — 35 с.

Статья получена 27 июня 2018 г., в окончательной редакции — августа