

ной системы ТОиР к обслуживанию «по состоянию». Разработанная система удаленной диагностики электродвигателей позволяет с достаточной точностью определять неисправные объекты при использовании данных с имеющейся измерительной аппаратуры. Точность выявления предиктивной системой неисправных электрических двигателей во время испытаний составила 87%, а время от выявления неисправности системой до полного или частичного отказа составило от 2-х до 14 дней.

Результаты испытаний подтвердили возможность и необходимость применения разработанной предиктивной системы в задачах оценки рисков эксплуатации технических объектов. Внедряя системы предиктивной аналитики в свои бизнес-процессы, эксплуатирующие и обслуживающие организации могут удаленно от объекта принимать решения, основываясь на оценке его состояния в ходе эксплуатации, и свести к минимуму случаи отказов и поломок, кото-

рые могут повлечь за собой аварии или другие производственные и финансовые потери.

#### Список литературы

1. *Богданов Е.Л.* Основы технической диагностики нефтегазового оборудования: Учеб. пособие для вузов. /Е. А. Богданов/ — : Высш. шк., 2006. — 279 с: ил.
2. *Галкин В.Г.* Надежность тягового подвижного состава. Учеб. Пособие для вузов ж.-д. трансп. /В.Г. Галкин, В.П. Парамзин, В.А. Четвергов / М.: Транспорт, 1981, 184 с.
3. *Ефанов Д.В.* Контроль параметров стрелочных электроприводов / Ефанов Д. В., Богданов Н.А. // Проблемы безопасности и надежности микропроцессорных комплексов. 2015. С. 118-128.
4. *Костюков В.Н.* Диагностика и мониторинг как основа управления эксплуатацией объектов производственно-транспортного комплекса/Костюков В.Н., Костюков А.В., Казарин Д.В.//Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 7-й международной научно-технической конференции. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2017. — С. 181-182.

*Александров Артем Игоревич* — руководитель департамента ООО «Центр 2М»,  
*Кварацхелия Нина Георгиевна* — канд. техн. наук, ведущий аналитик ООО «Центр 2М», доцент Московского физико-технического института.  
 Контактный телефон (966)325-38-24.  
 E-mail: [aleksandrov.artiom.i@gmail.com](mailto:aleksandrov.artiom.i@gmail.com) [kvara\\_ng@mail.ru](mailto:kvara_ng@mail.ru)

DOI: 10.25728/avtprom.2020.10.08

## К ВОПРОСУ О НАДЕЖНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ

**И.Н. Антоненко (ООО «НПП «СпецТек»)**

*В нормативно-технических документах существуют разночтения относительно того, что такое RCM (Reliability-Centered Maintenance) или надежно-ориентированное техническое обслуживание. Это создает предпосылки для заблуждений и мифов об RCM. Представлены основные принципы RCM. В основной части статьи рассматриваются и подвергаются критике заблуждения и мифы об RCM, известные из практики консультационных услуг.*

*Ключевые слова: надежно-ориентированное техническое обслуживание, управление отказами, система ТОиР.*

В 2018 г. исполнилось 40 лет с тех пор, как Стэнли Ноулан и Говард Хип в своем исследовании [1] представили методологию RCM (Reliability-Centered Maintenance). Их основная идея состояла в том, что правила обслуживания оборудования должны определяться последствиями отказа, а не только характеристиками самого отказа. Затем существенный вклад в развитие и популяризацию RCM внес Джон Маубрей [2]. В работе [3] подробно описаны этапы становления и развития RCM.

За прошедшие годы практика применения RCM необычайно расширилась. В России имеются примеры применения RCM в энергетике, нефтепереработке и нефтехимии, в металлургии и других отраслях [4–8]. Большой потенциал имеет RCM в обрабатывающей промышленности. Это связано с потребностью производства, основанного на применении поточных

линий, обеспечить максимальные показатели эффективности использования оборудования (OEE, Overall Equipment Effectiveness).

Отказы технологического оборудования приводят к внеплановым простоям, и как следствие — к снижению OEE и потерям производства. Профилактическое обслуживание позволяет предупредить отказы, но чем чаще оно проводится, и чем больше его объем, тем больше плановые простои, ниже доступность оборудования и меньше эффективный фонд времени работы оборудования. Таким образом, недостаток технического обслуживания, как и его избыток, являются нежелательными. Кроме того, не всегда профилактические работы эффективны, их проведение может не приводить к снижению интенсивности и/или последствий отказов. Отсюда вытекает оптимизационная задача, которая решается в рамках RCM.

Известны как международные стандарты по RCM<sup>1</sup>, так государственные стандарты России. С момента выхода в журнале «Автоматизация в промышленности» вводной статьи [9] появились новые стандарты, и накопился значительный массив публикаций по RCM. Возникли и некоторые связанные с RCM заблуждения, с которыми было бы полезно ознакомить аудиторию журнала.

#### Определение и принципы RCM

В государственных стандартах России встречается несколько определений RCM. Так, согласно отмененному ГОСТ Р 27.002-2009 «Надежность в технике. Термины и определения», это систематизированный метод, определяющий соответствующие задачи и частоту повторения операций технического обслуживания, в основу которого положены вероятности и последствия отказов.

Согласно ГОСТ 18322-2016 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения» (пункт 2.2.22), RCM — это техническое обслуживание, основанное на методологии определения оптимального набора операций технического обслуживания и частоты их применения, с учетом вероятностей и последствий отказов на любом уровне разукрупнения.

Согласно ГОСТ Р 27.606-2013 «Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность», RCM представляет собой процесс выработки и принятия решений, направленных на выявление подходящих и эффективных требований к системе и операциям предупредительного ТО, отвечающих последствиям выявляемых отказов в части их влияния на безопасность, техническую эффективность и экономичность эксплуатации изделия и вызывающим указанные отказы механизмам его деградации. В этом стандарте введен русскоязычный аналог RCM — надежность-ориентированное техническое обслуживание (НОТО).

В соответствии с ГОСТ Р 58771-2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска», RCM представляет собой технологию, основанную на анализе рисков, используемую для определения надлежащих политик и задач технического обслуживания. RCM используется для обеспечения применимого и эффективного технического обслуживания. Конечным результатом RCM является суждение о необходимости выполнения задачи обслуживания или других действий, таких как эксплуатационные изменения.

Исторически появлению RCM предшествовали три системы организации технического обслуживания и ремонта (ТОиР).

1. Система ТОиР по отказу (reactive maintenance). Это простейший вариант организации ТОиР, когда оборудование эксплуатируется до отказа без пред-

упредительных мер обслуживания, и ремонтируется по факту отказа. Тот же смысл имеют термины «реактивное обслуживание» или «корректирующее обслуживание».

2. Система ТОиР по регламенту (preventive maintenance). В данном случае регламенты определяют объем и периодичность ТОиР на основе норм работы, независимо от фактического технического состояния оборудования на момент начала ТОиР. Эта система обозначается так же терминами «профилактическое обслуживание» или «система ППР».

3. Система ТОиР по состоянию (condition-based maintenance). В рамках этой системы производится непрерывный (мониторинг) или периодический контроль технического состояния через установленные регламентом интервалы, а момент начала и объем ТОиР определяется фактическим состоянием оборудования. Для реализации этой системы необходимо выполнение ряда условий, в том числе наличие идентифицируемого и достаточно длительного П-Ф интервала (ГОСТ Р 55.0.05-2016. Управление активами. Повышение безопасности и надежности активов. Требования), который представляет собой интервал времени между наступлением предотказного состояния (П) и функциональным отказом (Ф).

В стандартах по RCM используется термин *опе- time changes* (разовые изменения). Этим термином обозначают совокупность действий, осуществляемых не периодически, которые выполняются, когда перечисленные выше системы ТОиР оказываются неэффективными или неприменимыми в отношении каких-то отказов какой-либо единицы оборудования. Например, несмотря на выполнение ТОиР по регламенту, интенсивность отказов не снижается, даже при уменьшении периодичности ТОиР. В ряде случаев тому есть причины (коренные причины отказов), на устранение которых направлены разовые преобразования. К ним относится любое действие, предпринятое для изменения актива (реконструкция или модернизация), либо для изменения метода выполнения работы по обслуживанию актива, либо для изменения условий его эксплуатации, либо для изменения способностей персонала (обучение, переподготовка).

Система ТОиР, построенная на принципах RCM, объединяет все перечисленные выше системы ТОиР, каждая из которых не считается изначально плохой, отсталой или, наоборот, самой лучшей. В рамках RCM все они существуют на предприятии одновременно и совместно с разовыми изменениями, а речь идет лишь о рациональном определении границ применимости каждой из этих политик управления отказами (рис. 1).

#### Основные принципы RCM.

1. Внимание должно быть сфокусировано на вопросе «как избежать последствий отказов?», а не на вопросе «как избежать отказов?».

<sup>1</sup> SAE JA 1011:2009. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes.

SAE JA 1012:2011. A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard.

IEC 60300-3-11:2009. Dependability Management — Part 3-11: Application guide — Reliability centered maintenance.

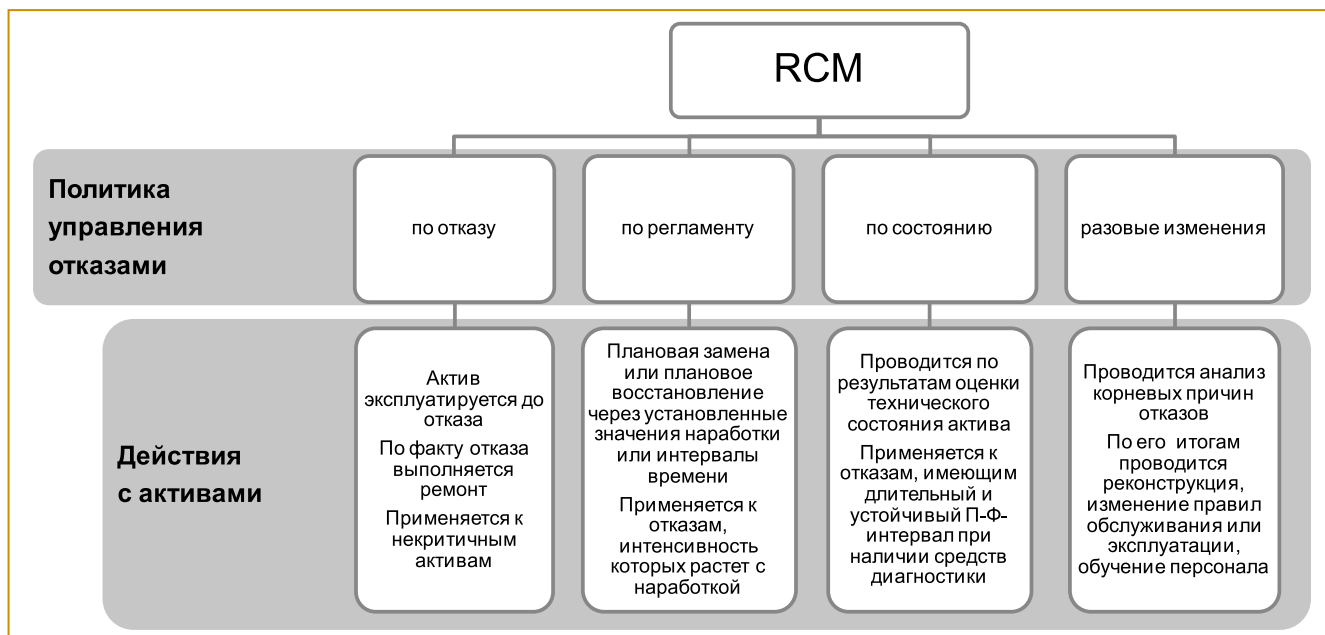


Рис. 1. Комплексное применение политик управления отказами при RCM

2. Главное — сохранение способности оборудования выполнять требуемые функции в заданных условиях применения, а не предупреждение отказов как таковых. Необходимо определить оптимальный набор и частоту действий, которые должны быть выполнены для того, чтобы система продолжала делать то, что от нее требуется.

3. Отказы имеют разную значимость (критичность), которая определяется их последствиями. От-

казы, не влекущие значимых последствий, не требуют мер по их предупреждению. Целесообразно позволить этим отказам произойти (ремонт по отказу).

4. Для каждого отказа со значимыми последствиями следует выбрать применимую и эффективную предупредительную работу. Применимость определяется характеристиками самого отказа. Например, если отказ не имеет устойчивого и достаточно длительного П-Ф-интервала, обслуживание по состоянию не будет применимым. Эффективность определяется способностью предупредить отказ. Например, если отказ не имеет выраженного роста интенсивности с увеличением наработки, обслуживание по регламенту (по наработке) не будет эффективным. Если отказ не влияет на экологию и безопасность, то эффективность также определяется соотношением затрат на предупреждение отказа и цены предупреждаемых последствий: затраты на предупреждение должны быть меньше.

5. Одинаковое оборудование не означает одинаковое обслуживание. Например, два одинаковых насоса могут иметь совершенно разную значимость для производства: один работает в системе охлаждения оборудования, а другой — в системе водоотведения. Кроме того, два одинаковых насоса могут иметь различную интенсивность эксплуатации. Это должно учитываться при определении состава и частоты повторения операций по их обслуживанию.

Процесс RCM, описанный в стандарте SAE JA 1011:2009, включает семь этапов или семь шагов (рис. 2). На выходе этого процесса, после седьмого шага, определяется применимая и эффективная работа для данного отказа. Причем на данном этапе работа — это не подробное описание операций, которые нужно выполнить, а политика управления отказом, которая будет использоваться. Например: для предупреждения данного вида отказа использовать политику «обслуживание по состоянию».



Рис. 2. Семь шагов RCM2

*Надежность любой цепи определяется надежностью самого слабого звена. Все определит самый невыдержанный.*

Лэйни Тейлор

Если указанный выше процесс повторить для всех отказов, то сформируется совокупность работ, которая путем планирования, нагрузки операциями и ресурсами, преобразуется в программу технических воздействий на оборудование.

#### Мифы и заблуждения, связанные с RCM

Несмотря на весьма зрелый возраст, методология RCM остается покрытой завесой сложности. Возникли некоторые заблуждения и мифы. Рассмотрим наиболее распространенные из них.

##### 1. RCM — это стратегия ТОиР

Некоторые авторы считают, что существует три стратегии ТОиР: регламентированное обслуживание и ремонт (ППР), ремонт и обслуживание по техническому состоянию, корректирующее обслуживание (ремонт после отказа). Другие добавляют к ним работы по поиску скрытых отказов и проверки резервного оборудования на функциональные отказы.

Влюбом случае, RCM не сводится к стратегии ТОиР. Из определения стандарта в ГОСТ Р 27.606-2013 следует, что RCM — это методология выявления и выбора политик управления отказами и формирования из них программы работ, сочетающей различные действия по техническому обслуживанию и разовые изменения и отвечающей профилю рисков, связанных с отказами (рис. 1).

##### 2. RCM — это неподъемный труд

Конечно, полный RCM-анализ в отношении всего технологического оборудования — очень трудоемкий 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.

Однако совсем не требуется объять необъятное. Классики RCM говорят [1], что необходимо разбиение оборудования по категориям для сокращения объема анализа до разумных и управляемых размеров. То есть, проведению RCM должна предшествовать приоритизация оборудования [10]. Она позволяет выявить наиболее критичные активы, сосредоточить на них внимание и ограниченные ресурсы и быстрее достичь значимого эффекта от RCM.

Для приоритизации оборудования необходимо отранжировать его в порядке убывания риска отказов, а потом идентифицировать объекты, вошедшие в верхнюю часть списка. Для этих наиболее приоритетных объектов выбрать соответствующие задачи, нацеленные

на снижение риска. Типичный проект RCM-анализа выполняется в течение недели группой из 4...5 человек.

Затем, когда риск отказов этих объектов будет уменьшен, необходимо провести повторно приоритизацию, повторить RCM-анализ на более низком уровне рисков. Не существует принципиальных ограничений числа таких циклов.

##### 3. RCM приводит к росту трудоемкости обслуживания

Опыт показывает снижение занятости персонала до 16% [11], сокращение затрат на ТОиР 10...30%. Экономия происходит за счет устранения избыточного обслуживания, а также работ, выполнение которых не влияет на предупреждение каких-либо отказов. Также из программы работ удаляется предупредительное обслуживание некритичного оборудования, в отношении которого выбрано «корректирующее обслуживание».

##### 4. Необходимо проводить RCM на всем оборудовании

Проведению RCM должна предшествовать приоритизация. И если верхняя часть ранжированного списка активов потребует RCM-анализа, то самая нижняя часть, то есть некритичные активы, должна быть выведена за пределы RCM.

Джон Маубрей приводит статистику из своего опыта [2], согласно которой около 65% его клиентов проанализировали часть своего оборудования по RCM и в большинстве своем планировали дальнейший анализ, если не всех своих активов, то основной их части. И около 10% организаций применили RCM ко всему оборудованию.

##### 5. Обучение RCM является излишним

Особенность RCM состоит в том, что эта задача предусматривает реорганизацию технических служб, трансформацию культуры ТОиР на предприятии, глубокий реинжиниринг и стандартизацию процессов управления активами, разработку нормативно-методических документов, создание центров компетенций по видам оборудования.

Поэтому специалистам предприятия потребуются знания и соответствующее обучение. Начинать надо с анализа «пробелов» знаний в области управления активами. В качестве критериев можно использовать требования к компетенции, разработанные GFMAM<sup>2</sup>. Такой подход позволяет гарантировать систематический охват требуемых ролей и соответствующих элементов компетенций.

Невозможно одновременно решить все проблемы по формированию системных знаний и компенсировать все пробелы в квалификации. Поэтому важно сформировать дорожную карту обучения с ранжированием рассматриваемых тем по их ценности для данного предприятия. Нужно включать в нее требования к компетенции применительно к конкретным ролям и бизнес-процессам. План развития компетенций должен учитывать ценность, которую несут физи-

<sup>2</sup> The Asset Management Landscape. Second Edition. <https://www.gfmam.org>

ческие активы, операционный контекст и реальные ограничения функционирования организации. Это гарантирует концентрацию усилий на наиболее проблемных местах, проведение осознанного найма персонала и целенаправленного обучения.

*6. Оптимизация программы предупредительного обслуживания — это RCM*

Оптимизация программы предупредительного обслуживания (ОППО) не является RCM, но может быть частью RCM и принести большую пользу. Оптимизация программы предупредительного обслуживания проводится на основе принципов RCM, представленных выше. Как правило, при ОППО решаются следующие задачи:

- выявление и удаление из программы дублирующих работ, направленных на предупреждение одного и того же отказа;
- выявление и удаление работ, которые не могут влиять на риск какого-либо отказа, даже если эти работы рекомендует поставщик оборудования;
- дополнение программы работами, направленными на предупреждение отказов, пропущенных в действующей программе работ;
- выявление неэффективных работ, которые не приводят к снижению риска отказов, изменение их периодичности или замена их эффективными работами;
- выявление отказов, для которых не найдено эффективных предупредительных работ, анализ корневых причин этих отказов и разработка разовых изменений, направленных на устранение этих причин (например, реконструкция или модернизация оборудования, замена поставщика запчастей).

*7. RCFA не хуже, чем RCM*

Анализ корневых причин отказов (Root Cause Failure Analysis — RCFA) может быть самостоятельным бизнес-процессом, который выполняется по факту произошедшего отказа и наступления значимых последствий. В этом случае проводится расследование, выявляются причины отказа, и разрабатываются корректирующие мероприятия, направленные на предупреждение этого отказа в будущем. Например, в программу обслуживания вносится новая предупредительная работа, выполняется реконструкция оборудования, проводится обучение персонала, низкая компетентность которого стала причиной отказа.

Таким образом, RCFA — это в принципе реактивная деятельность, которая начинается, когда нежелательные последствия отказа уже наступили, в то время как RCM-процесс изначально направлен на предупреждение. В то же время RCFA может быть частью RCM. В этом случае RCFA выполняется, когда не удалось найти применимую и эффективную предупредительную работу.

*8. Каждый может выполнить RCM самостоятельно*

Реализация RCM — это командная работа. Очевидно, что в ней должны участвовать эксперты по видам оборудования (опытные механики и энергетики).

Менее очевидно, но не менее необходимо, чтобы в ней участвовал производственный персонал, который со своей стороны может выдвинуть идеи о причинах тех или иных отказов, а также знает их последствия для производства. Также необходимо, чтобы в проекте участвовали специалисты финансовой и экологической служб предприятия, а также службы безопасности труда, которые компетентны в оценке последствий отказов, включая штрафы и иную ответственность. Таким образом, RCM-процесс — это горизонтальный бизнес-процесс, который должен объединять различные службы предприятия.

*9. Консультанты сами выполняют RCM*

Ни один консультант, даже самый опытный, не знает контекста, в котором эксплуатируется то или иное оборудование, выпускается та или иная продукция на конкретном предприятии. Ни один консультант, сколь талантлив бы он ни был, не может обладать всеми специальными знаниями, которыми обладают десятки или сотни инженеров различных специальностей на предприятии. Консультант окажет методическую помощь, но он не сможет заменить всех участников RCM-процесса, о которых сказано выше.

*10. RCM — это проект в области технического обслуживания*

Изначально методология RCM была разработана для потребностей авиации [1], и тогда в ее названии



Рис. 3. Восемь шагов RCM3

вошло слово «maintenance», то есть техническое обслуживание. Однако уже тогда многих интересовало применение RCM в других отраслях. В версии RCM2 (рис. 2), адаптированной для применения в промышленности, введены в рассмотрение экологические последствия отказов и более строго рассматриваются производственные последствия [2]. Следующая версия — RCM3 (рис. 3) перешла к логике принятия решений, основанной на оценке рисков [12].

Сегодня RCM — это процесс, результаты которого могут привести к изменениям не только в техническом обслуживании, но также и в эксплуатации, производственном планировании, материально-техническом снабжении, экологическом менеджменте, риск-менеджменте и других сферах деятельности организации.

#### Заключение

Согласно результатам исследования Aberdeen Group [13] по выборке из 173 компаний, 60% из них разработали документированные процедуры обслуживания каждого актива, основанные на RCM и критичности оборудования. При этом 50% предприятий создали команды непрерывного улучшения в рамках реализации RCM. Лучшие в своем классе компании на 89% чаще используют RCM в своей программе ТОиР.

Успех RCM проекта во многом зависит от воли руководства предприятия и руководителя этого проекта. Практика показывает, что существует разница между числом разработанных программ обслуживания по результатам RCM, числом утвержденных программ и числом реализованных. Там, где процесс не имеет должного руководства, до внедрения дело не доходит.

После внедрения необходим анализ результативности принятых решений (внедренных программ) и непрерывное циклическое улучшение. Если этого нет, то первоначально достигнутый эффект быстро исчезнет, так как однажды разработанная программа работ не может оставаться оптимальной неограниченно долго.

Для успеха не обойтись и без информационной поддержки, то есть внедрения информационной системы управления производственными активами. Принятие решений при RCM предполагает наличие

## Оценки надежности даже в ненадежных обстоятельствах.

Джордж Оруэлл

информации об активах или накопление этой информации в процессе эксплуатации. Создание такой системы — это особая задача [14], требующая комплексной компетенции в области управления активами, разработки и внедрения программного обеспечения класса EAM (Enterprise Asset Management).

#### Список литературы

1. Nowlan F.S., Heap H.F. Reliability-centered Maintenance. San Francisco: Dolby Access Press, 1978. — 466 p.
2. Moubray J. Reliability-centered Maintenance. Second Edition. NY: Industrial Press Inc, 1997. 426p.
3. Антоненко И.Н. Надежно-ориентированное техническое обслуживание: методология и практика применения // Методы менеджмента качества. 2018. №12. С. 48-54.
4. Теория надежности // Магнитогорский металл. 2017. №9. С. 1-2.
5. От ППР к ABC и RCM // Новатор. 2019. №11(5368). С. 3
6. Главная цель — повышение эффективности // ЭлектроСТАЛЬ. 2020. №11. С. 4-5.
7. Диагностика на страже безопасности // Энергетика и промышленность России. 2017. №15-16 (323-324). С. 12.
8. Амиров В.Р. Управление надежностью и целостностью оборудования — важный инструмент повышения эффективности бизнеса // ПРОнефть. 2018. № 1(7). С. 77-80.
9. Шехватов Д.Б. Обслуживание по состоянию. Концепция RCM // Автоматизация в промышленности. 2012. №9. С. 5-12.
10. Антоненко И.Н. Методика приоритизации объектов обслуживания на основе оценки критичности отказов // В мире неразрушающего контроля. 2018. Т. 21, №3. С. 64-68.
11. Антоненко И.Н., Беляков М.И. Об одной надежностной задаче и ее решении в информационной системе // Автоматизация в промышленности. 2015. №8. С.18-21.
12. Marius Basson, Aladon. RCM3: Risk-Based Reliability Centered Maintenance. Third Edition. NY: Industrial Press, Inc., 2018. — 500 p.
13. Cline G. Asset performance Management: blazing a better path to operational excellence // Aberdeen Group Rep. November 2017. 11 p.
14. Кац Б.А., Молчанов А.Ю. Управление производственными активами с помощью современных информационных технологий // Автоматизация в промышленности. 2014. №8. С. 39-45.

*Антоненко Игорь Николаевич — канд. техн. наук, начальник отдела ООО «НПП «СпецТек».*  
E-mail: antonenko@spectec.ru

#### Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

- по электронному каталогу "Почта России" ФГУП Почта России - подписной индекс **П7753**.
- в России, странах СНГ и дальнего зарубежья — через редакцию ([www.avtprom.ru](http://www.avtprom.ru)).

Все желающие, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку, начиная с любого номера, прислав заявку в редакцию или оформив анкету на сайте [www.avtprom.ru](http://www.avtprom.ru)

В редакции также имеются экземпляры журналов за прошлые годы.