



Попов Денис Сергеевич — кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин». Родился в 1980 г. В 2003 г. окончил магистратуру Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. Научное направление — автоматизация и управление качеством производственных процессов на транспорте. Имеет 36 печатных работ, является соавтором 4 учебно-методических изданий и 2 работ, получивших патенты на изобретения.

УДК 658.012.4.004.12:656.2

Д. С. ПОПОВ

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ

В статье рассмотрены проблемы построения системы менеджмента качества на предприятиях железнодорожного транспорта. Определены понятие и комплекс показателей критичности узлов и агрегатов сложной технической системы. Предложен общий алгоритм решения задачи восстановления работоспособности элементов технических систем.

Ремонтные затраты отраслевых подразделений железнодорожного транспорта оцениваются в 160 млрд р. в год и составляют около 30 % от общих эксплуатационных расходов железнодорожного транспорта, а качество ремонта и обслуживания технических средств является важнейшим фактором безопасности перевозок. Поэтому совершенствование ремонтного комплекса является одним из основных направлений повышения безопасности перевозок и снижения их себестоимости.

Повышение качества обслуживания и ремонта подвижного состава и инфраструктуры должно осуществляться на основе внедрения систем менеджмента качества (СМК) на принципах международных стандартов ИСО 9000:2000, обеспечивающих высокий уровень управления и упорядочение всех производственных процессов.

Эффективность СМК в компании может быть достигнута на основе внедрения ее на всех уровнях управления и организации производства от высшего руководства до низового звена. Учитывая специфику железнодорожного транспорта (однотипность предприятий по хозяйствам и взаимосвязанность технологических процессов), необходимо внедрить СМК на базовых предприятиях компании с последующим распространением полученного опыта на всю сеть. Параллельно должны быть отработаны управленческие механизмы поддержания бизнес-процессов и постоянного улучшения СМК. Методология внедрения системы менеджмента качества должна обеспечить постоянное улучшение и сохранение всех позитивных наработок, которыми располагает компания.

Для решения данной стратегической задачи и формирования корпоративной системы менеджмента качества требуется поэтапное выполнение следующих мероприятий:

1. Разработка концепции СМК.
2. Формирование организационной структуры СМК.

3. Обучение высшего руководства основам менеджмента качества. Разработка системы корпоративных стандартов и методических рекомендаций по формированию СМК на предприятиях по обслуживанию и ремонту подвижного состава и объектов инфраструктуры.

4. Организация обучения руководителей структурных подразделений и линейных предприятий.

5. Постановка целей и формирование политики в области качества на базовых предприятиях по обслуживанию и ремонту подвижного состава и объектов инфраструктуры.

6. Разработка и внедрение процессной модели системы менеджмента качества на базовых предприятиях компании.

7. Разработка и внедрение системы документирования СМК в соответствии с требованиями международного стандарта ИСО 9000:2000.

8. Организация внутреннего аудита СМК.

9. Подготовка к сертификации СМК на базовых предприятиях компании.

10. Разработка типовых методических рекомендаций по внедрению СМК на предприятиях, обеспечивающих техническое обслуживание и ремонт подвижного состава и объектов инфраструктуры.

Для обеспечения качества выполнения технологических процессов ремонта должен быть продолжен курс на расширение внедрения современных методов диагностики, охватывающих весь перечень ответственных узлов и деталей, а также методов продления их ресурса.

Это позволит:

- повысить надежность технических средств, снизить число отказов и неплановых ремонтов подвижного состава и объектов инфраструктуры за счет улучшения качества ремонта;

- сократить общую продолжительность простоя подвижного состава во всех видах ремонта и потери в перевозочной работе, связанной с ремонтом и содержанием объектов инфраструктуры;

- повысить производительность труда за счет концентрации крупных видов ремонта и внедрения средств технической диагностики.

При проведении мониторинга технического состояния (ТС) сложных систем и агрегатов одной из наиболее актуальных является задача объективного своевременного обнаружения дефектов различной природы и организация контроля за развитием дефектов из-за старения элементов при эксплуатации. Дефектом, согласно нормативно-технической документации, называется каждое отдельное несоответствие продукции требованиям. Обычно под дефектом понимают отклонение параметра от требований проектно-конструкторской документации, выявленное средствами неразрушающего контроля. Связь такого понятия с определением по стандарту устанавливается путем разделения дефектов на допустимые НТД и недопустимые.

Обобщая, здесь и далее под дефектом будем понимать физическое проявление изменения характеристик объекта контроля с параметрами, не соответствующими нормативным требованиям. По происхождению дефекты подразделяют на производственно-технологические, возникающие в процессе проектирования и изготовления изделия, его монтажа и установки, и эксплуатационные, возникающие после некоторой наработки изделия в результате процессов деградации, а также в результате неправильной эксплуатации и ремонтов.

В дальнейшем, говоря о дефектах, выявляемых средствами и методами НК, будем иметь в виду эксплуатационные и производственно-технологические дефекты, не выявленные при изготовлении и сдаче систем в эксплуатацию.

При анализе безопасности работы сложных объектов значительное внимание уделяется вопросам определения критичности узлов и агрегатов систем. Проблема выявления критичных элементов особенно актуальна при анализе безотказности транспортных систем в условиях ограниченных ресурсов. Поскольку системы содержат большое количество элементов, то в условиях жестко ограниченных ресурсов обеспечить повышение надежности путем улучшения качества одновременно всех элементов не представляется возможным.

Однако разные подсистемы, агрегаты или системы играют при функционировании объекта далеко не одинаковую роль, и отказы разных компонентов могут приводить к разным последствиям. Поэтому необходимо сосредоточить усилия на совершенствовании узлов, критичных элементов, играющих в обеспечении безотказности наиболее важную (ключевую) роль.

Вывод о возможности ремонта или замены только части элементов системы без необходимости проведения ремонтов других элементов базируется на методике анализа и ранжирования наиболее критичных элементов в составе системы.

Проблема ранжирования элементов системы может решаться различными способами и состоит в целенаправленном выявлении критичных элементов, подлежащих исследованию и выявлению дефектов на данном периоде восстановления.

Критичность системы (элемента) есть свойство элемента, отражающее возможность возникновения отказа и определяющее степень влияния на работоспособность системы. Критичность не может быть определена только одними свойствами элемента, а должна определяться в рамках всего технического объекта, его функциональной структуры. Наиболее распространенными показателями, характеризующими критичность, являются структурная важность и важность в смысле надежности.

Часто при анализе систем различного функционального назначения (энергетических установок, электрических кабелей и т.д.) критичность рассматривается как более широкое понятие — векторное свойство. Выделяются три общих основных составляющих критичности:

- надежность (безопасность);
- последствия отказа;
- возможность уменьшения вероятности возникновения и тяжести последствий.

Разные системы могут характеризоваться различными наборами частных показателей критичности. Эти частные показатели характеризуются как количественными, так и качественными показателями. Набор показателей критичности может быть следующим: резервирование; возможность отказа; тяжесть последствий отказа; устойчивость элемента к воздействию внешних неблагоприятных факторов среды; контролируемость состояния элементов в ходе эксплуатации; продолжительность присутствия риска вследствие отказа; возможность локализации отказа и др.

Частные значения показателей критичности определяются различными видами последствий. Примеры частных показателей критичности и описание их характеристик приведены в таблице.

Частные показатели критичности

Показатель	Характеристика
Тяжесть последствий	1. Отказ приводит к катастрофической ситуации 2. В результате отказа возникает необходимость в принятии экстренных мер для предотвращения катастрофической ситуации 3. Отказ приводит к потере некоторых эксплуатационных свойств. В результате чего время эксплуатации может сократиться 4. Отказ приводит к потере некоторых эксплуатационных свойств, не влияющих на продолжительность эксплуатации 5. Отказ изменяет режимы работы зависимых элементов, что увеличивает вероятности их отказов
Резервирование	1. Резервирование невозможно 2. Резервирование возможно, но отсутствует 3. Однократное резервирование без контроля состояния резерва 4. Однократное резервирование и состояние резерва контролируются 5. Двукратное и более резервирование без контроля состояния резерва 6. Двукратное и более резервирование, состояние резерва контролируются
Вероятность отказа	1. Элемент обладает относительно высокой вероятностью отказа в течение эксплуатации 2. Отказ считается возможным и вероятным (конструкция прошла достаточный объем испытаний, обеспечивающий приемлемый уровень вероятности безотказной работы) 3. Отказ считается возможным, но маловероятным (отказов данного элемента на предшествующих аналогах не наблюдалось) 4. Отказ возможен, но крайне маловероятен (при проектировании приняты меры для исключения отказа, обеспечен высокий показатель безотказности, достигнута стабильность характеристик, отсутствуют предельные температурные, радиационные, вибрационные нагрузки) 5. Отказ считается невозможным (отсутствуют логические условия для возникновения отказа)
Устойчивость к воздействию внешних неблагоприятных факторов	1. Из опыта эксплуатации известно, что в условиях воздействия внешних факторов реальный ресурс меньше, чем проектный 2. Опыт эксплуатации в условиях воздействия внешних факторов отсутствует, но анализ предсказывает, что имеющийся ресурс меньше проектного 3. Фактический ресурс в реальных условиях эксплуатации близок к проектному 4. Известно, что реальный ресурс больше проектного 5. Отсутствуют неблагоприятные факторы внешнего воздействия в период эксплуатации
Контроль состояния элемента	1. Состояние элемента не контролируется 2. Предусмотрен контроль без прогнозирования 3. Предусмотрен прогнозирующий контроль
Возможность локализации	1. Локализация нужна, но технически невозможна в данной конструкции 2. Предусмотрены меры, направленные на локализацию отказа 3. Специальные меры, обеспечивающие локализацию отказа, не нужны

Операция ранжирования элементов по степени критичности может осуществляться на различных уровнях структурирования объектов систем, агрегатов и узлов, частей конструкций и отдельных элементов на основе анализа морфологических блоков и структурных взаимосвязей. Чем больше вес элемента, тем он важнее для обеспечения безопасности функционирования объекта.

Формально задача ранжирования элементов по степени критичности с учетом одного или совокупности критериев относится к классу задач определения предпочтений многомерных альтернатив. Ее решение в каждом конкретном случае зависит от типов систем, выбранных частных показателей критичности, информации, полученной от экспертной комиссии и т.д.

Для организации нормативно-технического обеспечения и сопровождения данными критичных элементов на различных этапах восстановления необходимо создание и ведение баз данных о дефектах и их положениях, размерах, результатах испытаний и диагностики, проблемах восстановления, структурных схемах систем и деревьях отказов и т.д. Эти данные важны как для оценки вероятности проявления дефектов, так и для более тщательного их изучения. Ведение «информационного паспорта» исследуемых критичных элементов с данными о технико-экономических показателях и операциях, которые выполнялись с элементами на предыдущих периодах восстановления, позволяет реализовать наиболее рациональные пути и способы устранения дефектов.

На основе анализа информационного паспорта элемента для различных периодов восстановления можно говорить о контроле над развитием дефекта, сравнивать обнаруженные дефекты с определенными эталонами для их ранжирования, проводить классификационный анализ, принимая во внимание аспекты, связанные с безотказностью функционирования системы. Информационный паспорт элементов это также основа для выбора и построения принципов контроля с учетом технических характеристик и экономических показателей.

Отсутствие данных по использованию и материалов диагностики и контроля не позволяет рационально организовывать эксплуатацию систем таким образом, чтобы расходовать технический ресурс как можно дольше, не снижая при этом уровень надежности в целом.

Проблема рационального использования технического ресурса для отдельных элементов и агрегатов системы ставит задачи исследования моделей и механизмов отказов элементов систем. Построение моделей для моделирования развития дефектов различного типа для различных типов элементов (кабели, трубы, двигатели и т.д.) с учетом различных внешних условий (окружающей среды) и возмущений является актуальной задачей.

При решении задач восстановления актуальным является применение математического моделирования и методов планирования восстановления элементов систем, которые учитывают возможности совмещения отдельных операций ТО, ремонта и технологических процессов, методы совершенствования расписаний обслуживания с учетом различных критериев и т.д. Для подготовки ТО критичных элементов необходимо также планировать обеспечение их различного рода ресурсами и разработать модели расходования ресурсов на основе теории управления запасами. Не менее значимы задачи планирования объемов и сроков проведения ТО, разработки оптимальных стратегий ремонтов по различным показателям готовности, стоимости и т.д. Основанием для назначения того или иного вида ремонта является выработка технологическим оборудованием технического ресурса, при котором создается угроза отказа технического объекта.

При разработке таких моделей необходимо формировать показатели критериев и учесть ограничения на потребление различного рода ресурсов — временных, финансовых, трудовых.

Рассмотрим одну из задач принятия решений по выбору способов восстановления элементов систем.

Предположим, что для фиксированного периода времени T в результате проведения исследования технического состояния выделенных критичных элементов и обработки данных экспериментов по диагностике элементов (отдельных агрегатов или систем) с применением комплекса методов НК определены возможные способы восстановления элементов и заданы ограничения по технико-экономическим показателям на проведение работ.

Обозначим через $E = \{e_j, j \in J\}$, $J = \{1, \dots, n\}$ — множество элементов (агрегатов), у которых на данный период восстановления T необходимо проводить комплекс мероприятий (ТО различного уровня), восстановление (профилактику, замену и т. д.). Объемы ремонтно-профилактических работ для каждого агрегата (или системы) зависят от информации экспертов о величине его остаточного ресурса, интенсивности отказов, результатов контроля систем, выделенных ресурсов и т. д.

Реализация восстановления работоспособности элемента e_j может осуществляться различными технологическими способами:

$$x_{jk} \in X_j = \{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jk*}\}.$$

Тогда $x = (x_{1k1}, \dots, x_{1kj}, \dots, x_{nkn})$ — перечень способов восстановления всех критичных элементов системы.

При проведении работ могут задействоваться: различное число бригад, ремонтных органов, оборудование различного типа и т. д., для различных элементов необходимы финансовые и ресурсные затраты. От этих затрат зависят качество и сроки проведения работ [замена узла новым или замена (восстановление) его части и т. д.], что и определяет показатель вероятности недостижения элементами предельного состояния после восстановления.

Возможные варианты восстановления критичных элементов систем x_{jk} :

- замена;
- частичное восстановление;
- резерв.

Определим для каждого способа восстановления x_{jk} показатели планируемых вероятностей неперехода в предельное состояние $p_j(x_{jk})$ и затрат ресурсов $g_j(x_{jk})$ (например, среднее время восстановления элементов и систем, стоимость ремонтно-профилактических работ, трудозатраты и т. д.).

Данные по ресурсам заносятся в таблицу, в которой для каждого элемента фиксируются возможные способы его восстановления.

Пусть заданы ограничения b_i , $i \in I = [1, \dots, m]$ по каждому ресурсу для планового периода времени T . Тогда задача выбора способов восстановления элементов системы может быть сформулирована следующим образом:

максимизировать надежность

$$P(x) = \prod p_j(x_{jk}) \rightarrow \max,$$

при ограничениях на ресурсы восстановления

$$g_i(x) = \sum g_{ij}(x_{jk}) \leq b_i, \quad i \in I,$$

$$x = \{x_{1k1}, \dots, x_{1kj}, \dots, x_{nkn}\} \in X = \prod X_j.$$

Результатом решения данной задачи являются фиксированные способы восстановления агрегатов или технологических систем в плановый период восстановления T , после выполнения которых надежность системы является максимальной при выделенных ресурсах. Важно отметить, что при нахождении и интерпретации решений необходимо исследовать их корректность и адекватность. Для решения задачи могут быть использованы алгоритмы, базирующиеся на методе последовательного анализа и отсеивания вариантов.