

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НАДЕЖНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Володько Олег Станиславович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Тракторы и автомобили» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8(84663) 46-3-46.

Ленивцев Александр Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Механизация, автоматизация и электроснабжение строительства» ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8-927-600-20-00.

Ключевые слова: надежность, работоспособность, трибологическая, система, ресурс, технический, уровень.

Проведен сравнительный анализ ГОСТ 27.002-89 и Р 27.002-2009 «Надежность в технике. Основные термины и определения» и предложена методология исследования надежности и работоспособности технических систем.

Надежность и работоспособность в большинстве случаев выступают основными свойствами технических систем, определяющими технико-экономическую, технологическую и экологическую эффективность их функционирования в реальных условиях эксплуатации. Характерными и многочисленными представителями технических систем являются мобильные энергетические средства (МЭС), адаптированные для работы в различных областях и направлениях народного хозяйства. По уровню напряженности рабочих режимов и условий эксплуатации в общей группе транспортно-технологических машин и комплексов (ТТМ и К) можно выделить:

- автотранспортные средства грузового и пассажирского назначения;
- дорожно-строительные и подъемно-транспортные машины и механизмы в строительной индустрии;
- тракторы и автомобили, комбайны и другие специальные машины для агропромышленного комплекса (АПК).

Актуальность широких исследований надежности и работоспособности технических систем определяется интенсивным развитием трибологических направлений в машиностроении, открытием явления «избирательного переноса», обоснованием нанотехнологий и практической реализацией безыносных режимов работы ресурсопределяющих сопряжений машин и механизмов. Важное значение при этом имеют всесторонний анализ и экспериментальная оценка определяющих критериев надежности и работоспособности техники с учетом реальных условий эксплуатации.

Цель исследований – повышение надёжности и работоспособности технических систем с обоснованием рациональных ресурсных критериев и методологии их обеспечения на разных этапах «жизненного цикла» машин.

Основные задачи раскрытия современного представления и развития понятий надежность и работоспособность машин характеризуются следующими аспектами:

- сравнительный анализ нормативных документов по основным понятиям, терминам и определениям надежности и работоспособности в технике;
- оценка развития новых технических и технологических направлений с использованием в машиностроении перспективных технологий и методов повышения ресурса машин;
- обоснование рациональных критериев оценки надежности, готовности и работоспособности машин на разных этапах их жизненного цикла;
- аналитическая оценка технического уровня современных машин и механизмов и методов его повышения на основе базы экспериментальных данных, систематизированных с учетом особенностей и видов технических систем.

Методика решения поставленных задач включает характерные для научного исследования этапы:

- аналитический обзор номенклатурных понятий надежности и работоспособности машин;
- теоретическое обоснование оптимальной взаимосвязи динамических и трибологических систем отдельных элементов и механизмов;
- выбор рациональных и перспективных технологий на всех этапах жизненного цикла машин;

- разработку рекомендаций по формированию многофункциональной базы экспериментальных исследований, обеспечивающих использование инновационных технологий создания и эксплуатации машин при оптимальных и прогнозируемых критериях надежности и работоспособности.

Выбор объекта, предмета, условий и режимов исследований обусловлен особенностями взаимодействия входных и выходных параметров трибологической системы, определяющей конструктивно-технологическую структуру машин, как типичного представителя исследуемой технической системы, и условий её эксплуатации. Отличительной особенностью данных условий для МЭС автотранспортного, дорожно-строительного и сельскохозяйственного направления является работа в основном при открытом атмосферном воздействии в различных климатических зонах, в широком интервале нагрузочно-скоростных режимов работы и при высокой загрязненности окружающей среды частицами пыли абразивного характера. Отмеченные условия эксплуатации являются в большинстве случаев определяющими факторами снижения трибологических параметров и ресурса машин [3, 6, 8].

Характерной чертой научно-технического прогресса является постоянное возникновение все более сложных проблем, требующих разработки новых теоретических решений и методов экспериментальных исследований. Так в машиностроении вследствие совершенствования конструкции МЭС, технологических процессов их изготовления и эксплуатации требуется более квалифицированный инженерный подход к обеспечению надежности и работоспособности машин.

Сравнительный анализ технических нормативных документов по надежности и работоспособности в технике показывает, что введенный в действие 01.01.2011 года ГОСТ Р 27.002-2009 «Надежность в технике. Термины и определения» несколько отличается от ранее действовавшего ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» [4, 5].

Прежний ГОСТ рассматривал надежность «как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования» [4]. Как комплексное свойство объекта, надежность в данном случае включает его безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость и в определенной мере характеризует его работоспособность, т.е. «состояние, при котором значения всех параметров, определяющих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации».

ГОСТ Р 27.002-2009 (табл. 1) с учетом новых товарно-рыночных отношений и вступления России в ВТО адаптирован по форме и содержанию с аналогичными зарубежными техническими нормативами ISO и отечественными стандартами ИСО в области обеспечения качества и общей надежности изделий, принятых в данных документах в качестве объектов оценки [5].

В мировом и отечественном производстве транспортных и энергетических машин в настоящее время широкое распространение получает анализ технического изделия в рамках полного жизненного цикла: создание (научно-технический поиск, проектирование, изготовление образцов, испытание, доводка конструкции), производство (постановка модели машины на производство, установившееся производство и снятие с производства), обращение (упаковка, хранение, транспортирование) и эксплуатация (ввод в эксплуатацию, использование по назначению, техническое обслуживание, ремонт, модернизация, хранение, снятие с эксплуатации и утилизация). При этом активно используются компьютерные технологии (САПР), автоматические системы управления технологическими процессами и предприятиями (АСУ ТП, АСУП), GALS-технологии, которые в условиях современных TV и Internet-коммуникаций могут целенаправленно формировать базу аналитических и экспериментальных данных для создания перспективных технических систем различного направления.

Таблица 1

Структура терминов надежности и работоспособности в технике (ГОСТ Р 27.002-2009)

Термины	Определения	Основные свойства и условия
Надежность	Свойство изделия выполнять требуемую функцию	- безотказность; - ремонтпригодность; - поддержка технического обслуживания
Готовность	Способность изделия выполнять требуемую функцию	- необходимые внешние ресурсы обеспечены (может включать климатические, технические и экономические обстоятельства); - сочетание свойств надежности
Долговечность	Способность изделия выполнять требуемую функцию	- до достижения предельного состояния при данных условиях использования и технического обслуживания
Сохраняемость	Способность изделия выполнять требуемую функцию	- в течение и после хранения и (или) транспортирования
Работоспособное состояние	Состояние изделия, при котором оно способно выполнять требуемую функцию	- необходимые внешние ресурсы представлены; - возможно работоспособное состояние для всех или отдельных функций
Комплексное материально-техническое обеспечение	Процесс скоординированного управления по обеспечению всех материалов и ресурсов, требуемых для эксплуатации изделия	- обеспечение основных свойств и способностей надежности, готовности и работоспособности

Структурный анализ надежности и работоспособности машин показывает, что их основные критерии базируются на видах и скорости изнашивания сопряженных поверхностей, ресурсных параметрах технической системы в целом и уровне технико-экономических и экологических показателей изделия и условий безопасности жизнедеятельности. Данные направления характеризуются развитием исследований в следующих областях науки: трении, смазывании и изнашивании; конструировании и расчете машин; химмотологии; трибологии и триботехники; нанотехнологии в машиностроении и др. Результаты исследования свидетельствуют о постепенном изменении основных свойств надежности (табл. 1) и энерго-экономических показателей работоспособности (параметры качества, производительность, расход топливо-смазочных материалов, уровень обеспечения необходимого внешнего ресурса и др.). Первая группа показателей определяет уровень надежности, где преобладают трибологические аспекты состояния элементов машин, как сложных систем, а вторая группа характеризует организационно-технологическую реализацию их работоспособности.

В числе критериев надежности технических систем характерным является ресурс её основных составляющих: механическое устройство, гидравлическое, пневматическое и электрооборудование, которые обеспечивают трансформацию и адаптацию энергии, управление и другие функции системы. В форме аддитивного показателя суммарный критерий надежности технической системы можно представить выражением:

$$H_C = H_M \cdot \alpha_M + H_G \cdot \alpha_G + H_{II} \cdot \alpha_{II} + H_{Э} \cdot \alpha_{Э}, \quad (1)$$

где H_C – критерий надежности системы;

$H_M, H_G, H_{II}, H_{Э}$ – критерии надежности механической, гидравлической, пневматической и электрической составляющей системы;

$\alpha_M, \alpha_G, \alpha_{II}, \alpha_{Э}$ – соответствующие уровни значимости критериев отдельных составляющих.

Приняв механическое устройство за основу технической системы, с учетом исследований [1, 7], технический ресурс при реализации процессов трения в механизмах на микроуровне имеет форму регламентированного ресурса (T_p), обоснованного скоростью изнашивания ресурсопределяющих деталей. При этом реализуются условия

$$I_{\partial} \leq I_p; T_{\partial} \geq T_p, \quad (2)$$

где I_{∂} и I_p – действительная и регламентированная средние скорости изнашивания;

T_{∂} и T_p – действительный и регламентированный ресурсы машины.

Основной трибологический закон взаимодействия поверхностей трения в данном случае характеризуется соотношениями:

$$\begin{aligned} F_{TP} &= F_a + F_k, \\ f_{TP} &= f_a + f_k, \end{aligned} \quad (3)$$

где F_{TP} и f_{TP} – сила и коэффициент трения;

F_a и f_a – молекулярные (адгезионные) составляющие;

F_k и f_k – деформационные (когезионные) составляющие.

Повышение технического уровня ТТМ и К на данном уровне решения трибологических проблем базируется на реализации следующих направлений:

- оптимизации основных критериев триады «надежность – готовность – работоспособность машин»;
- обеспечении достаточного уровня насыщения контактов поверхностей трения ресурсопределяющих сопряжений;
- создании базы научно-экспериментальных данных по методам насыщения контактов на основе функциональной, аналитической и эмпирической взаимосвязи определяющих факторов;
- систематизации условий эксплуатации машин и методов обеспечения рациональных режимов функционирования их трибологических систем (нагрузочно-скоростной и температурный режимы работы, совершенство смазочной системы, герметичность механизмов, уровень фильтрования масла и др.).

Современный уровень развития «триботехники», как научного направления, и внедрения нанотехнологий в производство технических систем открывают возможность реализовать их жизненный цикл с условиями прогнозируемого ресурса (T_a), т.е. обратного направления проектирования машины от рационального программирования технического ресурса по критерию скорости изнашивания к обоснованию динамической схемы, разработки новых технологий изготовления и формирования структуры материалов для поверхностей трения ресурсопределяющих деталей. Процессы трения в данном случае рассматриваются и реализуются на наноуровне, а определяющими критериями являются соотношение суммарной площади фактического контакта $\sum \Delta S_\phi$ и номинальной площади S_H сопряжения деталей, а также адгезионной и когезионной составляющих коэффициента трения

$$\sum \Delta S_\phi \rightarrow S_H; \quad (4)$$

$$f_{TP} \approx f_a, f_k \rightarrow 0.$$

Решение трибологических проблем повышения технического уровня машин суммируется при этом дополнительными направлениями:

- модификация поверхностей трения на структурном и рельефном уровнях с формированием их положительного градиента твердости;
- оптимизация трибологических параметров в сопряжениях технических систем, обеспечивающих снижение водородного изнашивания, реализацию явления «избирательного переноса» при трении и реализацию «безыносных» режимов работы механизмов и машин.

В работе Беркович И. И. и др. [2] предложена модель изнашивания, в которой «учтен не только основной механизм разрушения, но и ряд наиболее существенных факторов, определяющих ход изнашивания: дискретность контакта, локализованный микробоъем материала, динамика контактной нагрузки, вклад химических превращений и др.». Базовое уравнение изнашивания может быть представлено в следующем виде

$$I_{II} = \frac{\Delta S_\phi \cdot n_c \cdot h}{\Pi \cdot \xi \cdot \lambda \cdot t_o \cdot \exp\left(\frac{\mathcal{G} - \psi \cdot \gamma \cdot \alpha}{R \cdot T}\right)}, \quad (5)$$

где I_{II} – прогнозируемая скорость изнашивания трибосопряжения;

ΔS_ϕ – фактическая площадь единичного контакта;

n_c – число контактов;

h – глубина зоны наибольшей концентрации дислокаций;

Π – характеристика релаксации повреждений;

ξ – исходная повреждаемость материала;

λ – отношение поверхности частицы среднестатистического размера к поверхности одного активированного объема;

t_o – постоянная времени;

\mathcal{G} – энергия активации разрушения межатомной связи при отсутствии внешних напряжений;

ψ – коэффициент поглощения (диссипативность контакта);

γ – структурно-чувствительный коэффициент;

α – напряжение;

$R \cdot T$ – энергия теплового движения.

Представленный теоретический подход оценки изнашивания совместно с аналитическими выражениями других теорий трения углубляет анализ трибологических процессов перспективных технических систем и определяет новые исследовательские задачи на основных этапах их жизненного цикла.

Современный уровень технического прогресса характеризуется повышением надежности и работоспособности машин и механизмов, которые базируются на результатах теоретических и экспериментальных исследований трибологических процессов в технических системах. Рациональными в этом направлении являются следующие этапы и направления исследований:

- обоснование этапов реализации программируемого ресурса технической системы;
- разработка нанотехнологических методов формирования поверхностей трения с положительным градиентом твердости и повышение уровня насыщения контакта поверхностей;
- формирование базы экспериментальных данных по снижению различных видов изнашивания, улучшению критериев надежности и работоспособности машин;
- систематизация теоретической и экспериментальной информации с целью разработки многофакторных программ её компьютерного анализа и обоснования технических рекомендаций.

Библиографический список

1. Чичинадзе, А. В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А. В. Чичинадзе, Э. М. Берлинер, Э. Д. Браун [и др.] ; под ред. А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 2003. – 576 с.
2. Беркович, И. И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения / И. И. Беркович, Д. Г. Громаковский ; под ред. Д. Г. Громаковского. – Самара : СамГТУ, 2000. – 268 с.
3. Володько, О. С. Пути повышения ресурса агрегатов тракторных трансмиссий / О. С. Володько, Г. А. Ленивцев, В. В. Ефимов // Известия Самарской ГСХА. – Самара, 2010. – Вып. 3. – С. 57-60.
4. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1990–01–07. – М. : Изд-во стандартов. – 24 с.
5. ГОСТ 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – Введ. 2011–01–01. – М. : Стандарт-Информ. – 32 с.
6. Зорин, В. А. Основы работоспособности технических систем. – М. : Академия, 2009. – 208 с.
7. Ленивцев, Г. А. Эффективность и эксплуатационная надежность сельскохозяйственной техники / Г. А. Ленивцев, О. С. Володько, А. Г. Ленивцев // Известия Самарской ГСХА. – Самара, 2009. – Вып. 3. – С. 39-43.
8. Прокопенко, В. А. Графические модели объектов экономических исследований / В. А. Прокопенко, С. В. Машков, С. А. Карпушкина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – Вып. 2. – С. 74-79.