УДК 69.002.5

© А. А. Шиманова, канд. техн. наук
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: sommery@ya.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-1-200-203

© А. А. Shimanova, PhD in Sci. Tech.
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: sommery@ya.ru

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

METHODS OF ENSURING THE COMPLEX TECHNICAL SYSTEM HEALTH AT THE STAGES OF THE LIFE CYCLE

Приводятся обзор методов обеспечения работоспособности сложных технических систем, распределение групп методов обеспечения работоспособности по разным этапам жизненного цикла сложных технических систем, вопросы поддержания и восстановления работоспособности, параметры и критерии оценивания работоспособности. Дается обзор инновационных технологий, применение которых на разных этапах жизненного цикла позволит увеличить работоспособность сложных технических систем.

Ключевые слова: сложные технические системы, работоспособность, надежность, методы обеспечения работоспособности, техническая эксплуатация, жизненный цикл.

The article provides an overview of methods of ensuring the system health of complex technical systems. Such issues are also considered as the following: distribution of groups of methods to ensure efficiency at different stages of the complex technical system life cycle, system maintenance and recovery, parameters and criteria for validation of the system health. The author highlights the cutting-edge innovative technologies, the use of which at different stages of the life cycle will increase the efficiency of complex technical systems.

Keywords: complex technical systems, system health, reliability, methods of ensuring the system health, technical maintenance, life cycle.

«Сложными техническими системами называют системы, поведение которых сложно моделировать из-за сложных зависимостей между их частями или из-за сложных взаимодействий между данной системой и окружающей средой» [1].

Сложными техническими системами (СТС) являются и различные наземные транспортно-технологические машины в целом и пневмотранспортные комплексы и системы в частности. «Надежность и работоспособность в большинстве случаев выступают основными свойствами технических систем, определяющими технико-экономическую, технологическую и экологическую эффективность их функционирования в реальных условиях эксплуатации» [2].

СТС подвергаются воздействию различных факторов, влияющих на изменение их работоспособности в процессе проектирования, производства, эксплуатации, ремонта и утилизации. На этапе эксплуатации СТС теряет свою работо-

способность вследствие нежелательного изменения свойств ее элементов. Изменение свойств элементов СТС во время эксплуатации происходит из-за износа, усталости, коррозии, старения, истирания, точечной коррозии и т. д. Интенсивность износа возможна от многих факторов, в частности от качества исполнения, внешних условий (нагрузка, скорость, температура), а также от окружающей среды. Техническое состояние системы или ее элемента может быть улучшено при ремонте или используя конструктивные, эксплуатационные, технологические и восстановительно-консервирующие методы [2].

Научный интерес к обеспечению работоспособного состояния СТС обусловлен интенсивным развитием инновационных тенденций в машиностроительной отрасли, таким явлением как «избирательный перенос», обоснованием и реализацией нанотехнологий и внедрением «безыносных режимов работы ресурсопределяющих

сопряжений машин и механизмов» [2]. При этом существенное значение имеют комплексный анализ, экспериментальная оценка базовых параметров надежности и работоспособности технического объекта с учетом реальных условий эксплуатации.

Обеспечение работоспособного состояния СТС должно осуществляться по принципу системности на всех этапах жизненного цикла СТС исходя из критериев качества, производительности и экономической целесообразности. Рационализация срока службы рассматривается как единый процесс, согласованный на всех этапах жизненного цикла, в рамках которого его характеристики могут быть реализованы различными методами обеспечения работоспособности.

«Обеспечить высокий уровень работоспособности машин возможно только в результате комплексных взаимоувязанных мероприятий при их проектировании, производстве и эксплуатации» [3].

Схема распределения методов обеспечения работоспособности по этапам жизненного цикла СТС представлена на рисунке.

К этим методам на этапе проектирования можно отнести: методы рационального проектирования СТС; агрегатирования (единство типового ряда ТС различного назначения); прогнозирования; использования инновационных разработок в области конструкционных материалов, метод недоминируемого варианта обеспечения

работоспособности с учетом технологической наследственности [4].

Методы рационального проектирования СТС включают в себя:

- поиск, анализ альтернативных проектно-конструкторских решений и использование наиболее рациональных принципиальных и компоновочных схем СТС;
- упрощение конструкции СТС;
- обеспечение технологичности деталей.

К методам обеспечения работоспособности СТС на этапе изготовления были отнесены: методы прогнозирования; использование передовых технологических процессов изготовления деталей, технологии упрочнения деталей металлоплакированием [5], интенсификации традиционных сборочных процессов, например введение ультразвуковых колебаний в зону контакта поверхностей деталей [6].

Основываясь на анализе литературы соответствующей тематики, среди методов обеспечения работоспособности СТС на этапе эксплуатации как наиболее значимые были выделены следующие: выбор оптимальной стратегии ТО и Р; использование передовых разработок в области эксплуатационных материалов; передовые методы технической диагностики, например с использованием наноструктурированных материалов; методы прогнозирования технического состояния СТС.

В современных условиях СТС должны отвечать комплексу требований по обеспечению

работоспособности в условиях воздействия влияющих факторов, агрессивных сред, электромагнитных полей и т. д. Вместе с тем элементы СТС непрерывно усложняются функционально, что требует высокой степени интеграции механических, электронных, оптических элементов силовых и информационных подсистем. Все это требует непрерывного мониторинга и контроля параметров СТС для обеспечения надлежащего функционирования, для чего необходимо применение комплексных систем мониторинга и контроля. Задачи этих систем — получение информации и параметров функционирования СТС в реальном масштабе времени, а также анализ этой информации для определения текущего состояния объекта [7].

Техническая диагностика (ТД) — определение технического состояния объекта. Задачами ТД являются: «контроль технического состояния, поиск места и определение причин отказа (неисправности), прогнозирование технического состояния» [8].

Методы ТД в современных условиях функционирования СТС являются самыми актуальными при техническом обслуживании (ТО) СТС по её состоянию [9–11].

Методы диагностирования, реализуемые на стадии эксплуатации по принципу работы, можно сгруппировать следующим образом:

- основанные на определении временных отрезков. Применяются для оценки ТС по параметрам длительности импульсов. Позволяют отслеживать информацию о продолжительности простоев;
- основанные на использовании эталонных модулей. Принцип действия основан на сравнении реальных и эталонных численных значений, характеризующих ТС;
- корреляционные методы позволяют автоматизировать методы второй группы;
- тестовые методы предполагают формирование какого-либо тестового воздействия на проверяемый объект и определение его выходных характеристик. Неразрушающие методы контроля;
- методы органолептического диагностирования. Требуют наличие квалифицированного персонала [12].

«Прогнозирование технического состояния — определение технического состояния объекта с заданной вероятностью на предстоя-

щий интервал времени. Целью прогнозирования технического состояния может быть определение с заданной вероятностью интервала времени (ресурса), в течение которого сохранится работоспособное (исправное) состояние объекта и вероятности сохранения работоспособного (исправного) состояния объекта на заданный интервал времени» [7].

Наиболее длительным этапом ЖЦ СТС является этап эксплуатации, поэтому дальнейшие исследования необходимо вести в области совершенствования системы эксплуатации СТС путем реализации наиболее прогрессивных методов обеспечения работоспособного состояния СТС на данном этапе. Учитывая сложность процессов, протекающих внутри СТС, при взаимодействии СТС с окружающей средой, многообразие факторов, влияющих на техническое состояние СТС в процессе её эксплуатации, разработка алгоритмов обеспечения технического состояния сложных технических систем является задачей весьма актуальной и представляющей научный интерес.

Библиографический список

1. Цветков В. Я. Сложные технические системы // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 3 (20). С. 86–92.
2. Володько О. С., Ленивец А. Г. Методологические основы исследований надежности и работоспособности технических систем // Известия самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 3. С. 40–44.
3. Максименко А. Н. Обеспечение работоспособности машины с учетом изменений технико-экономических показателей на этапе эксплуатации ее жизненного цикла // Вестник Белорусско-Российского университета. 2012. № 2 (35). С. 31–40.
4. Краснова М. Н. Обоснование выбора недоминируемого варианта обеспечения работоспособности изделий с учетом технологической наследственности: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2007. 165 с.
5. Буткевич М. Н. Обеспечение работоспособности машин и оборудования на этапах жизненного цикла технологиями металлоплакирования: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2006. 396 с.
6. Малкина И. В. Применение инновационных технологий при сборке изделий машиностроения // Современные проблемы теории машин. 2017. № 5. С. 98–100.
7. Дмитриенко А. Г., Блинов А. В., Волков Д. В., Волков В. С. Техническая диагностика. Оценка состояния

и прогнозирование остаточного ресурса технически сложных объектов / под ред. Д. И. Нефедьева, Б. В. Цыпина. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2013. 62 с.

8. Еришов Д. Ю. Техническое диагностирование и методы контроля механических узлов в машиностроении // Молодой ученый. 2013. № 4. С. 62–64.

9. Лепеш Г. В. Современные методы и средства диагностики оборудования инженерных систем зданий и сооружений // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2015. № 4 (34). С. 3–8.

10. Лепеш Г. В. Диагностика и комплексное обслуживание инженерно-технических систем и оборудования зданий и сооружений // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2015. № 5 (35). С. 6–16.

11. Лепеш Г. В. Оперативный контроль и диагностика оборудования / Г. В. Лепеш, В. Н. Куртов, Н. Г. Мотылев и др. // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2009. № 3 (9). С. 8–16.

12. Баурова Н. И. Разработка основ технологического обеспечения производства машин и мониторинга изменения их технического состояния с применением наноструктурированных материалов: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2010. 351 с.

References

1. Tsvetkov V. Ya. *Slozhnye tekhnicheskie sistemy* [Complex technical systems]. *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii – Educational resources and technologies*, 2017, no. 3 (20), pp. 86–92.

2. Volod'ko O. S., Lenivtsev A. G. *Metodologicheskie osnovy issledovaniy nadezhnosti i rabotosposobnosti tekhnicheskikh sistem* [Methodological foundations of studies of the reliability and efficiency of technical systems]. *Izvestiya samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii – Bulletin of the Samara State Agricultural Academy*, 2013, no. 3, pp. 40–44.

3. Maksimenko A. N. *Obespechenie rabotosposobnosti mashiny s uchetom izmeneniy tekhniko-ehkonomicheskikh pokazateley na ehtape ehkspluatatsii ee zhiznennogo tsikla* [Ensuring the operational efficiency of the machine taking into account changes in technical and economic indicators at the stage of operation of its life cycle]. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta – Bulletin of the Belarusian-Russian University*, 2012, no. 2 (35), pp. 31–40.

4. Krasnova M. N. *Obosnovanie vybora nedominiruemogo varianta obespecheniya rabotosposobnosti izdeliy s uchetom tekhnologicheskoy nasledstvennosti*. Diss. kand. tekhn. nauk [Substantiation for the selection of a non-dominated way of ensuring the health of products taking into account technological heredity. PhD in Sci. Tech. diss.]. Voronezh, 2007, 165 p.

5. Butkevich M. N. *Obespechenie rabotosposobnosti mashin i oborudovaniya na ehtapakh zhiznennogo tsikla tekhnologiyami metalloplakirovaniya*. Diss. d-ra tekhn. nauk [Ensuring the efficient performance of machinery and equipment at the stages of the life cycle with metal protection technologies. Dr. Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2006, 396 p.

6. Malkina I. V. *Primenenie innovatsionnykh tekhnologiy pri sborke izdeliy mashinostroeniya* [Application of innovative technologies at the assembly of engineering products]. *Sovremennyye problemy teorii mashin – Modern problems of the theory of machines*, 2017, no. 5, pp. 98–100.

7. Dmitrienko A. G., Blinov A. V., Volkov D. V., Volkov V. S. *Tekhnicheskaya diagnostika. Otsenka sostoyaniya i prognozirovaniye ostatochnogo resursa tekhnicheskikh slozhnykh ob'ektov* [Technical diagnostics. Assessment of the state of technically complex objects and forecasting the residual life]. Ed. by Nefed'ev D. I., Tsylin B. V. Penza, Penz. gos. un-t Publ., 2013, 62 p.

8. Ershov D. Yu. *Tekhnicheskoe diagnostirovaniye i metody kontrolya mekhanicheskikh uzlov v mashinostroyeni* [Technical diagnostics and methods of controlling mechanical engineering assemblies in mechanical engineering]. *Molodoy uchenyy – Young scientist*, 2013, no. 4, pp. 62–64.

9. Lepesh G. V. *Sovremennyye metody i sredstva diagnostiki oborudovaniya inzhenernykh sistem zdaniy i sooruzheniy* [Modern methods and means of diagnostics of the equipment of engineering systems of buildings and structures]. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa – Technical and technological problems of service*, 2015, no. 4 (34), pp. 3–8.

10. Lepesh G. V. *Diagnostika i kompleksnoye obsluzhivaniye inzhenerno-tekhnicheskikh sistem i oborudovaniya zdaniy i sooruzheniy* [Diagnostics and complex service of engineering systems and equipment of buildings and structures]. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa – Technical and technological problems of service*, 2015, no. 5 (35), pp. 6–16.

11. Lepesh G. V., et al. *Operativnyy kontrol' i diagnostika oborudovaniya* [Operational control and diagnostics of the equipment]. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa – Technical and technological problems of maintenance*, 2009, no. 3 (9), pp. 8–16.

12. Baurova N. I. *Razrabotka osnov tekhnologicheskogo obespecheniya proizvodstva mashin i monitoringa izmeneniya ikh tekhnicheskogo sostoyaniya s primeneniem nanostrukturirovannykh materialov*. Diss. d-ra tekhn. nauk [Development of the fundamentals of technological support for producing machines and monitoring changes in their technical condition with the use of nanostructured materials. Dr. Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2010, 351 p.