

УДК 620.179:629.7.018.4

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Некрасов И.Н., Шишкин Е.В., Глуханов А.С.

*ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского», Санкт-Петербург,
e-mail: Ponomarev_igor_1985@mail.ru*

В статье приведен анализ современного состояния системы эксплуатации специальных технических систем. Обосновано, что применение жестких стратегий технического обслуживания, базирующихся на среднестатистических оценках изменения технического состояния, не учитывает особенностей конкретного объекта, условий его эксплуатации, что может послужить несвоевременному проведению регламентных работ. Показаны основные стратегии эксплуатации, реализованные в настоящее время на объектах специального назначения. Выявлены особенности специальных технических систем, которые необходимо учитывать при разработке алгоритмического и математического обеспечения процессов их контроля и диагностирования. Предложен подход к определению технического состояния специальных технических систем на основе комплексного применения методов декомпозиции, агрегирования и теории распознавания образов. Определен перечень задач, решение которых позволит создать систему достоверного и оперативного контроля и диагностирования специальных технических систем.

Ключевые слова: контроль работоспособности, диагностирование, контролируемый параметр, входное воздействие, специальные технические системы

METHODOLOGICAL BASES OF DIAGNOSTICS OF SPECIAL TECHNICAL SYSTEMS

Nekrasov I.N., Shishkin E.V., Glukhanov A.S.

Mozhaisky Military Space Academy, Sankt-Petersburg, e-mail: Ponomarev_igor_1985@mail.ru

The article presents the analysis of the current state of the system, operation of special technical systems. Reasonably, that the use of maintenance strategies, based on the average estimates of changes in technical condition do not take into account specific features of the object, conditions of its operation, which can be timely scheduled maintenance. Shows the main maintenance strategy implemented at the present time in the special-purpose objects. Identifies the features of specific technical systems that need to be considered when developing algorithmic and mathematical support processes monitoring and diagnosis. The proposed approach to the definition of a technical condition of special technical systems on the basis of complex application of methods of decomposition, aggregation and the theory of pattern recognition. The list of tasks which will allow to create a system of reliable and timely monitoring and diagnosis of special technical systems.

Keywords: health monitoring, diagnostics, controlled parameter, input effects, special technical systems

Специальные технические системы (СТС) – совокупность устройств, функционально связанных с технологическим оборудованием и обеспечивающих применение космических средств по назначению.

В предшествующий период – с начала зарождения космической отрасли и до 2000-х гг. уровень научного и инженерного сопровождения процессов создания и эксплуатации СТС существенно отставал от уровня соответствующих процессов для технологических систем. В основном, данный факт объясняется тем, что разработка технологических систем находилась в ведении Генерального конструктора комплекса, а разработкой СТС занимались общепромышленные организации.

Существующая система эксплуатации СТС предусматривает применение жестких стратегий технического обслуживания, которые базируются на среднестатистических оценках изменения технического состояния (ТС) объектов определенной

структуры и назначения. Такой подход не учитывает особенностей конкретного объекта, условий его эксплуатации, в результате чего профилактические работы могут проводиться несвоевременно (исходя из фактического ТС). Это значительно ухудшает эксплуатационные характеристики данным систем, в том числе снижает безотказность. В связи с тем, что в составе СТС практически только объекты общепромышленного назначения, которые, как известно, характеризуются большим разбросом показателей надёжности даже среди однотипных агрегатов, ориентация на среднестатистические оценки становится ещё более неоправданной.

В сложившихся условиях особого внимания заслуживают те подходы к управлению техническим состоянием, которые позволяют решать проблемы поддержания работоспособного состояния СТС специальных объектов. Среди таких направлений необходимо выделить следующие.

Переход к гибким стратегиям технического обслуживания, предусматривающим варьирование сроками и объёмами профилактических работ в зависимости от фактического ТС оборудования. Теоретические исследования и экспериментальная отработка полученных результатов подтверждают целесообразность внедрения гибких стратегий в практику эксплуатации СТС [4].

Ко второму направлению относится применение системы расширенного технического обслуживания, которая базируется на гибких стратегиях, но, кроме того, предусматривается выполнение и определённых ремонтных работ в войсковых условиях. Внедрение системы войскового ремонта позволяет отказаться от ряда услуг предприятий промышленности, а следовательно, снизить стоимость ремонтных работ, исключить затраты времени и ресурсов на транспортировку оборудования. Таким образом, повышается и готовность систем вентиляции и кондиционирования воздуха к применению.

Но реализация указанных мероприятий связана с необходимостью решения ряда вопросов организационного и научно-технического характера. Одно из центральных мест занимает проблема получения необходимой информации о техническом состоянии СТС.

Данная информация поступает в результате проверки функциональной пригодности объектов. Функциональная пригодность СТС определяется совокупностью свойств, оценивание которых производится на основе экспериментальных исследований, реализуемых в рамках эксплуатационно-технического контроля. В составе указанных мероприятий выделяется контроль работоспособности. При осуществлении контроля проверяется соответствие объекта заданным эксплуатационно-техническим требованиям.

В случае несоответствия хотя бы одному из установленных требований объект необходимо исследовать дополнительно с целью установления причин этого несоответствия, т.е. отказов объекта. Поиск отказов составляет задачу технического диагностирования.

Диагностирование (техническое диагностирование) – процесс определения технического состояния объекта диагностирования с определенной точностью.

Для оценки переменных состояния используются косвенные признаки – **выходные параметры**, имеющие с переменными состояния функциональную или стохастическую взаимосвязь. Выходные параметры

$$y_j, j = \overline{1, n} \quad (1)$$

можно наблюдать и измерять, поскольку это конкретные физические величины – токи, напряжения, температуры, давления, амплитуды и скорости виброперемещений и т.д. Такие параметры называются **контролируемыми признаками**, когда осуществляется контроль работоспособности или правильности функционирования системы, и **диагностическими признаками** – при реализации процессов диагностирования (поиска отказов). Значения контролируемых признаков, измеренных в заданный момент времени, образуют вектор

$$\mathbf{Y}_{<n>} = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T, \quad (2)$$

который называется **наблюдаемым состоянием** системы.

В процессе применения системы по назначению имеют место внешние воздействия на неё, которые в заданный момент времени определяются количественными характеристиками

$$u_p, p = \overline{1, h}. \quad (3)$$

Внешние воздействия делятся на два вида:

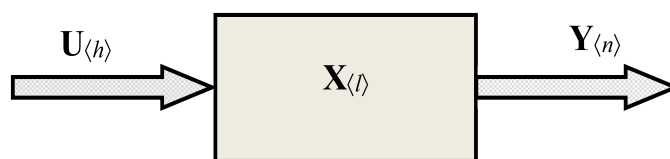
– поступают от средств контроля и диагностирования и являются специально организованными воздействиями с целью получения наиболее полной и объективной информации о состоянии системы. Такие воздействия называются **тестовыми**. Их можно изменять в зависимости от специфики решаемых задач. Контроль и диагностирование при тестовых воздействиях называются **тестовыми** (тестовый контроль, тестовое диагностирование).

– являются внешними по отношению к системе контроля и диагностирования, они определяются как рабочим алгоритмом функционирования системы, так и окружающей средой. Такие воздействия называются рабочими [1]. Контроль и диагностирование при рабочих воздействиях называются **функциональными** (функциональный контроль, функциональное диагностирование). В качестве воздействий среды, которые могут оказывать существенное влияние на процесс функционирования системы, можно указать температуру, давление и влажность окружающего воздуха, виброакустическое воздействие от других систем, электромагнитные и тепловые излучения и т.д.

Вектор переменных (3), т.е.

$$\mathbf{U}_{<h>} = (u_1, u_2, \dots, u_h)^T, \quad (4)$$

в дальнейшем называется **входным воздействием** на систему.



Структурная схема системы как объекта контроля и диагностирования

Таким образом, система как объект контроля и диагностирования рассматривается в виде преобразователя множества $U = \{U_{\langle n \rangle}\}$ входных воздействий и множества $X = \{X_{\langle l \rangle}\}$ технических состояний в множество $Y = \{Y_{\langle n \rangle}\}$ наблюдаемых состояний, а структурную схему системы следует представлять так, как показано на рисунке.

Для создания системы достоверного и оперативного контроля и диагностирования СТС необходимо решение ряда задач, в частности таких:

- разработка методов исследования закономерностей изменения технического состояния СТС с учетом структурной и функциональной взаимосвязи всех типов оборудования в технологическом процессе;

- разработка методического аппарата диагностирования на основе исследования закономерностей изменения технического состояния, структурного построения СТС и физической сущности процессов, происходящих во всех типах оборудования;

- разработка технических средств диагностирования тех типов оборудования, для которых реализация разработанных методов невозможна посредством использования штатных средств эксплуатации и органолептического контроля;

- создание базы данных о фактическом техническом состоянии в целях использования этой информации при проведении организационно-технических мероприятий по повышению надежности СТС (в частности, технического обслуживания).

Для определения функциональной пригодности объекта и поиска в нём отказов проводятся многоэтапные экспериментальные исследования как при его изготовлении, так и в процессе штатной эксплуатации. Решение данной задачи путём моделирования процесса функционирования объекта на стадии его проектирования далеко не всегда приводит к желаемым результатам. Дело в том, что существующие методы определения возмущений, как структурных, так и параметрических, основаны на использовании теории наблюдаемости [3]. Однако эти методы применимы только при нормаль-

но функционирующем объекте, т.е. при отсутствии в нём отказов. В случае появления возмущений, обусловленных отказами, модель известной структуры уже не будет соответствовать реальной структуре системы и, следовательно, подлежит уточнению. Но такое уточнение возможно лишь при выявлении характера отказа, а значит, необходим реально существующий объект с целью проведения на нём экспериментальных исследований. При этом указанные исследования должны проводиться в процессе всего жизненного цикла объекта, так как его свойства подвержены непрерывному изменению.

Например, целью контроля работоспособности является определение свойств элементов СТС, характеризующих работоспособное состояние. При нарушении нормальной работы объекта требуется определение таких его свойств, по которым можно найти отказавшую составную часть с требуемой глубиной.

Каждое из свойств объекта может быть описано с помощью одной или нескольких переменных, называемых показателями свойств [7]. Применительно к СТС в качестве показателей свойств используются количественные характеристики выходных реакций, называемые также выходными переменными. Таким образом, выходные реакции являются носителями информации о свойствах СТС. При оценивании конкретных свойств для каждого из показателей определяется множество допустимых значений. В совокупности такие множества задают вид технического состояния объекта, соответствующий набору его оцениваемых свойств в конкретных условиях исследований. Таким образом, понятие «вид ТС» имеет в некотором смысле собирательное значение: к одному и тому же виду ТС объекта относятся все его реальные состояния, при которых значения показателей свойств принадлежат множествам допустимых значений.

На объект имеют место входные воздействия. Из перечня входных воздействий выделяются такие, которые могут быть строго учтены и формализованы, и другие, харак-

теризующие неопределённость воздействия среды на объект.

В отдельных случаях продолжительностью регистрации характеристик входных и выходных сигналов допустимо пренебречь и считать, что получены мгновенные значения в виде числовых величин. Таким образом, компонентами входных и выходных процессов объекта могут быть числовые значения физических величин.

Необходимо отметить, что поиск отказов всегда производится применительно к фиксированному моменту времени.

В результате обработки выходного процесса объекта формируется множество значений выходных переменных или контролируемых признаков (КП), которые и содержат информацию о ТС. Эта информация поступает в результате выполнения проверок КП. Под проверкой в общем смысле понимается эксперимент, связанный с оценкой реакции объекта на входные воздействия. В основе этого понятия лежит предположение о том, что в разных ТС объект будет по-разному реагировать на одинаковые входные воздействия.

Как уже отмечалось, входные воздействия в зависимости от целей и характера проводимого эксперимента могут быть различными по своей физической природе – электрические, механические, акустические и т.п. Для СТС существенным является также воздействие факторов природного происхождения – атмосферного давления и температуры окружающего воздуха.

Ответные реакции объектов СТС на входные воздействия определяются по результатам регистрации характеристик выходных процессов. Они могут сниматься как с основных выходов, предназначенных для осуществления нормального функционирования СТС, так и с дополнительных выходов, введённых специально для целей анализа их ТС. Эти основные и дополнительные выходы называются контрольными точками.

При любых видах входных воздействий и выходных реакций объекта процесс контроля и диагностирования есть эксперимент над этим объектом. Минимальный, т.е. не подлежащий расчленению в данных конкретных условиях эксперимент, связанный с регистрацией характеристик выходных процессов объекта, на который поступают рабочие или тестовые воздействия, их обработкой и сравнением полученных значений КП с заданными значениями, называется элементарной проверкой [6] или проверкой контролируемого признака.

Под исходом проверки в обобщённом смысле понимается событие, заключающе-

ся в попадании значений КП в некоторое множество заданных значений, соотнесённое с определённым видом ТС. Число возможных исходов проверки зависит от конкретных условий её применения, вида регистрируемых характеристик, а также способа их обработки.

Также при разработке теоретических и прикладных вопросов контроля и диагностирования СТС необходимо учитывать ряд специфических требований. Основными из этих требований являются следующие.

1. Результаты контроля и диагностирования не должны зависеть от физической природы выходных процессов.

2. Принятие решений о ТС не должно быть связано с изменениями в структуре проверяемых систем.

3. Число контрольных точек на элементах СВ и КВ должно быть минимальным.

4. Определение ТС должно осуществляться с глубиной контроля и диагностирования до функциональных блоков.

5. Достоверность определения ТС должна быть не ниже заданной при минимально возможных затратах времени и ресурсов.

6. Контроль работоспособности в процессе применения объекта по назначению необходимо производить в реальном масштабе времени с целью исключения эффекта «размножения» отказов из-за несвоевременного установления факта отклонения от нормальной работы.

7. Принятие решений должно уточняться на основе дополнительной диагностической информации, поступающей в процессе эксплуатации объекта, т.е. процедуры контроля и диагностирования СТС должны быть адаптивными [5].

Заключение

Изложенные аспекты позволяют сделать вывод, что техническое обслуживание систем, определяющими требованиями к которым является надёжность, должно строиться на основе гибких стратегий. Сущность данного подхода состоит в варьировании объёмов или сроков, либо и объёмов и сроков ремонтно-профилактических работ на основе информации о фактическом техническом состоянии оборудования. Это позволяет обнаруживать и устранять на ранней стадии все отклонения от исходного технического состояния и тем самым предупреждать появление внезапных отказов.

Для перехода к гибкой стратегии технического обслуживания СВ и КВ необходимы разработка и внедрение методического аппарата анализа технического состояния и средств его практической реализации.

Такой аппарат позволит оценивать фактическое техническое состояние с выдачей нужной информации и возможностью осуществлять необходимое управление, в частности:

– производить контроль работоспособности СВ и КВ без производства демонтажных работ непосредственно в процессе применения его по назначению;

– фиксировать факты неработоспособности СВ и КВ с выходом контролируемых признаков за допустимые интервалы с целью осуществления управляющих воздействий по переводу нагрузки на резервные агрегаты;

– осуществлять поиск отказов с заданной глубиной, необходимой оперативностью и требуемой достоверностью.

В связи с тем, что наибольшие затраты времени и средств при существующей системе эксплуатации связаны с определением ТС, эффективность выполнения перечисленных задач при переходе к гибкой стратегии технического обслуживания в решающей степени будет зависеть от выбранной концепции оценивания технического состояния СВ и КВ, уровня математического и программного обеспечения, закладываемого в систему анализа ТС [2, 8].

Список литературы

1. Айвазян С.Л. Прикладная статистика и основы эконометрики / С.Л. Айвазян, В.С. Мхитарян. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 1022 с.
2. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс: Пер. с англ. О.В. Шихеевой / Б. Банди. – М.: Радио и связь, 1989. – 179 с.

3. Беллман Р. Динамическое программирование и современная теория управления: Пер. с англ. / Под ред. Б.С. Разумихина / Р. Беллман, Р. Калаба. – М.: Наука, 1969. – 118 с.

4. Кокорин О.Я. Установки кондиционирования воздуха / О.Я. Кокорин. – М.: Машиностроение, 1978. – 263 с.

5. Некрасов И.Н. Ограничения в задачах построения оптимальных алгоритмов определения технического состояния / И.Н. Некрасов, В.И. Сеньченков / Приборостроение: Издание СПбНИУИТМО. – 2014. – Т. 57, № 10. – С. 5–11.

6. Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. Основы технической диагностики: Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства / П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян. – М.: Энергия, 1981. – 320 с.

7. Резников Б.А. Системный анализ и методы системотехники. Ч. 1. Методология системных исследований. Моделирование сложных систем / Б.А. Резников. – МО, 1989. – 522 с.

8. Ту Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес. – М.: Мир, 1978. – 411 с.

References

1. Ajvazjan S.L. Prikladnaja statistika i osnovy jekonometriki / S.L. Ajvazjan, V.S. Mhitarjan. M.: JuNITI, 1998. 1022 p.
2. Bandi B. Metody optimizacii. Vvodnyj kurs: Per. s angl. O.V. Shiheevoy / B. Bandi. M.: Radio i svjaz, 1989. 179 p.
3. Bellman R. Dinamicheskoe programmirovaniye i sovremennaja teorija upravleniya: Per. s angl. / Pod red. B.S. Razumihina / R. Bellman, R. Kalaba. M.: Nauka, 1969. 118 p.
4. Kokorin O.Ja. Ustanovki kondicionirovaniya vozduha / O.Ja. Kokorin. M.: Mashinostroenie, 1978. 263 p.
5. Nekrasov I.N. Ogranicheniya v zadachah postroeniya optimalnyh algoritmov opredeleniya tehničeskogo sostojaniya / I.N. Nekrasov, V.I. Senchenkov / Priborostroenie: Izdanie SPb-NUITMO. 2014. T. 57, no. 10. pp. 5–11.
6. Parhomenko P.P., Sogomonjan E.S. Osnovy tehničeskoj diagnostiki: Optimizacija algoritmov diagnostirovaniya, apparaturnye sredstva / P.P. Parhomenko, E.S. Sogomonjan. M.: Jenergija, 1981. 320 p.
7. Reznikov B.A. Sistemnyj analiz i metody sistemotekhniki. Ch. 1. Metodologija sistemnyh issledovanij. Modelirovanie slozhnyh sistem / B.A. Reznikov. MO, 1989. 522 p.
8. Tu Dzh. Principy raspoznavaniya obrazov / Dzh. Tu, R. Gonsales. M.: Mir, 1978. 411 p.