

А.В. Барцевич, М.С. Карев, Р.А-М. Хашагульгов

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДА ПРОВОДИМОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ЭЛЕМЕНТАХ
СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Предложена стратегия поддержания работоспособности сложной технической системы. В состав сложных технических систем входят элементы, имеющие различные параметры и характеристики. Чтобы минимизировать проведение избыточного технического обслуживания (ТО), при котором вмешательство в функционирование исправного элемента системы ненужно, а зачастую вредно, необходимо разделить элементы сложной технической системы на группы по признаку проводимого на них вида ТО. Выделены три вида ТО: плановое (для которого характерен обязательный объем операций в запланированные моменты времени), по состоянию (внеплановое ТО, проводимое по результатам непрерывного или периодического контроля параметров) и по отказам (внеплановое ТО – фактически ремонт). Представленная методика регламентирует выбор вида ТО для элементов сложной технической системы.

Ключевые слова: сложная техническая система, техническое обслуживание, ранжирование элементов по нескольким показателям, стратегия поддержания работоспособности.

A.V. Bartsevich, M.S. Karev, R.A-M. Khashagulgov

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE TYPE OF MAINTENANCE
PERFORMED ON ELEMENTS OF A COMPLEX TECHNICAL SYSTEM

The article proposes a strategy for maintaining the performance of a complex technical system. Complex technical systems include elements with different parameters and characteristics. In order to minimize the excessive maintenance of a complex technical system in which interference with the functioning of a serviceable system element is not necessary, and often harmful, it is necessary to divide the elements of a complex technical system into groups based on the type of maintenance performed on them. The article identifies three types of maintenance: scheduled maintenance (which is characterized by a mandatory volume of operations at planned points in time), maintenance by condition (unplanned maintenance, carried out as a result of continuous or periodic monitoring of parameters) and maintenance by failure (unplanned maintenance – actually repair). The presented methodology regulates the choice of the type of maintenance for the elements of a complex technical system.

Keywords: a complex technical system, maintenance, ranking of elements by several indicators, and a strategy for maintaining operability.

Введение

Для поддержания работоспособности (исправности) технических объектов и снижения вероятности их отказов в ходе эксплуатации проводится техническое обслуживание. Техническое обслуживание делится на плановое, которое проводится в установленное время в установленном объеме, и внеплановое, проводимое без предварительного назначения [3].

Выбор вида ТО обычно определен изготовителем обслуживаемого технического объекта и зачастую это плановое ТО. При простоте организации такое ТО может быть из-

Барцевич Андрей Вадимович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры средств предупреждения о ракетном нападении Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: сложные технические системы. Автор 32 опубликованных научных работ.

E-mail: and_bav@mail.ru

Карев Михаил Сергеевич

начальник 111-й лаборатории – заместитель начальника отдела Военного института Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: конструкция космических аппаратов. Автор 32 опубликованных научных работ.

E-mail: mixeu@inbox.ru

Хашагульгов Руслан Абду-Мажитович

кандидат технических наук, преподаватель кафедры средств предупреждения о ракетном нападении Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: радиотехнические системы. Автор 29 опубликованных научных работ.

E-mail: x.p.a-m@mail.ru

быточным: ресурсы расходуются на проведение обслуживания исправного технического объекта, к тому же с возможностью внесения неисправности в ходе самого ТО. В определенных ситуациях (порядок ТО не определен изготовителем, окончание гарантийного срока и др.) целесообразно применять различные виды ТО.

Технические объекты как сложные технические системы

Многие технические объекты представляют собой сложные технические системы (СТС) [1]. Элементы СТС – это функционально самостоятельные подсистемы, которые отличаются эксплуатационными характеристиками. Для СТС не обязательно проведение ТО одного определенного вида, вид проводимого ТО на каждом элементе СТС целесообразно определять с учетом особенностей элемента.

В состав СТС входят подсистемы, функционирование (или отказ) которых имеет непосредственное влияние на достижение общей цели системы, подсистемы, отказ которых приводит к снижению показателей достижения общей цели системы и подсистемы, выполняющие вспомогательные функции. Кроме того, подсистемы СТС (далее ПСТС) отличаются по возможностям контроля технических параметров и кратности резерва.

Внеплановое техническое обслуживание

Техническое обслуживание, проводимое не по плану, можно разделить на ТО по состоянию и ТО по отказам. Техническое обслуживание по состоянию (обслуживание проводится не в установленные документацией моменты времени, а тогда, когда в нем возникает необходимость) может проводиться на резервируемых элементах ПСТС при наличии для них системы контроля технических параметров. Техническое обслуживание

Методика определения вида проводимого технического обслуживания на элементах ...

по отказам (обслуживание проводится не в установленные документацией моменты времени, а после наступления отказа) может проводиться на ПСТС, выполняющих вспомогательные функции.

Выбор того или иного вида ТО зависит от особенностей ПСТС и определяет стратегию поддержания работоспособности СТС. Поэтому чтобы определить применяемый для ПСТС вид ТО, необходимо сформировать правила, позволяющие разделить ПСТС по степени влияния на достижение общей цели системы.

Задачу можно сформулировать следующим образом:

1. Определить ПСТС, для которых изменение сроков и объема проведения ТО недопустимо по причине их недостаточной контролепригодности и необходимости планирования их ТО в надсистеме (ситуация, когда проведение ТО связано с прекращением выполнения СТС своих функций).

2. Определить ПСТС, для которых возможно проведение ТО по состоянию.

3. Определить ПСТС, для которых возможно проведение ТО по отказам без расхода средств на проведение планового ТО или ТО по состоянию.

Методика определения вида технического обслуживания

Входными данными для методики является структурная схема надежности СТС, состоящей из ПСТС (u_y), и цель ранжирования элементов схемы.

Основу методики составляет метод Парето, с помощью которого набор исходных ПСТС ранжируется в соответствии с показателями [4]. Ранг ПСТС определяется относительными значениями их оценок по выбранным показателям. Для реализации алгоритма необходимо иметь информацию о типе отношений между каждой парой рассматриваемых подсистем. Алгоритм определения вида проводимого технического обслуживания на элементах СТС представлен на рисунке 1.

Для ранжирования ПСТС необходимо:

- составить перечень показателей, характеризующих условия эксплуатации ранжируемых объектов;
- выбрать основные показатели;
- определить возможные значения данных показателей;
- определить предпочтения лица, принимающего решение (ЛПР);
- провести ранжирование объектов.

1. Перечень показателей, характеризующих условия эксплуатации ПСТС:

- влияние отказа ПСТС (ее основных элементов в случае резервированной) на достижение общей цели системы;
- кратность резерва ПСТС;
- требуется ли для проведения ТО вывод из работы;
- время, прошедшее после последнего ТО;
- интенсивность отказов;
- оперативность проведения ТО (потребный объем операций);
- техническое состояние ПСТС;
- возможности по контролю технического состояния ПСТС;
- возможности по ремонту ПСТС;
- финансирование эксплуатации СТС;
- режим работы ПСТС;
- уровень подготовки обслуживающего персонала.

2. Цель ранжирования – определение элементов технической системы, «опасных» в плане создания ситуации СТС неработоспособна. Исходя из цели показатели для ранжирования можно определить следующие:

- кратность резерва (отношение числа резервных элементов к основным) [2];
- влияние отказа основных элементов ПСТС на достижение общей цели СТС;
- возможности контроля технического состояния элементов СТС.

Выбранные показатели оценивают разные свойства элементов СТС, и считать тот или иной более предпочтительным не представляется возможным. Эти показатели несравнимы, что и определило использование для решения задачи метода Парето.

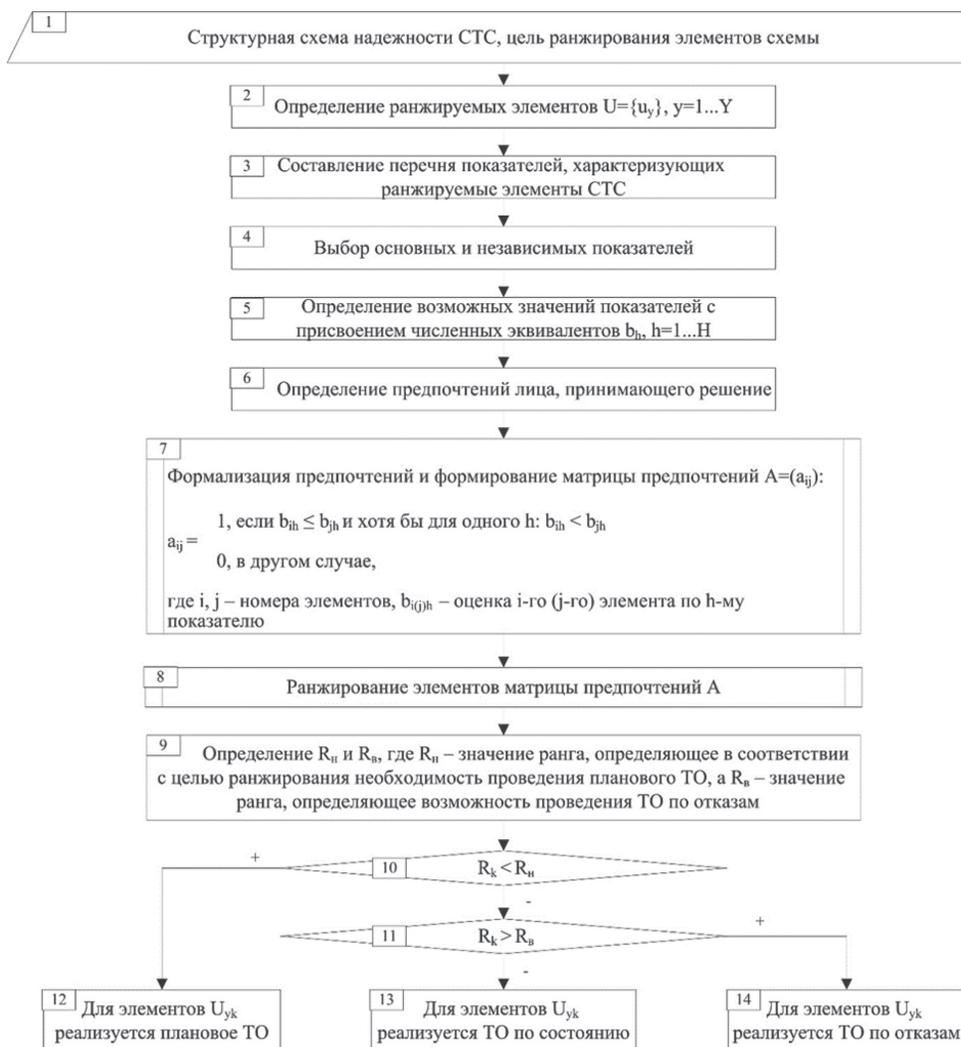


Рис. 1. Алгоритм определения вида проводимого технического обслуживания на элементах СТС

3. В общем случае значения показателей должны определяться экспертными методами, если эти значения не задаются в технической документации или не имеют явного вы-

Методика определения вида проводимого технического обслуживания на элементах

раженного значения. Значение показателя «кратность резерва» имеет явное численное значение, для остальных показателей необходимо применение экспертных методов.

Возможные значения для показателя «влияние отказа основных элементов ПСТС на достижение общей цели СТС» определяются методом балльных оценок по пятибалльной шкале:

- общая цель не достигается (1 балл);
- снижение показателей достижения общей цели системы с возможным ее недостижением при развитии ситуации (3 балла);
- снижение показателей достижения общей цели системы (4 балла);
- не влияет на достижение общей цели системы (5 баллов).

Значения показателя «возможности по контролю» определяются аналогичным образом исходя из следующих возможностей:

- определение отказа в реальном масштабе времени;
- определение технического состояния (параметры тестов, функциональных контролей, температурные и вибрационные характеристики, визуальная и аудиальная наблюдаемость);
- возможности по сбору, накоплению и анализу статистики по отказам и изменениям технического состояния.

Возможные значения показателя «возможности по контролю» (со значениями в пятибалльной шкале):

- низкие (1 балл);
- невысокие (2 балла);
- средние (3 балла);
- хорошие (4 балла);
- высокие (5 баллов).

Исходные данные для ранжирования сводятся таблицу 1.

Таблица 1

Исходные данные для ранжирования

№ п/п	ПСТС	Влияние отказа основных элементов ПСТС на достижение общей цели СТС	Кратность резерва	Возможность контроля технического состояния
1	u_1	b_{11}	...	b_{1H}
...
Y	u_y	b_{y1}	...	b_{yH}

4. В соответствии с целью ранжирования при парном сравнении (ранжирование по Парето) предпочтение отдается ПСТС, оценка которой превосходит оценку другой хотя бы по одному показателю, а по другим – не хуже; это отношение строгого предпочтения. На основании результатов сравнения значений показателей составляют матрицу предпочтений. В формализованном виде правило определения предпочтения между объектами сравнения следующее:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } b_{ih} \text{ и хотя бы для одного } h: b_{ih} < b_{jh} \\ 0, & \text{в другом случае} \end{cases}$$

где a_{ij} – булева переменная, элемент матрицы предпочтений; b – сравнительная оценка объекта по показателю; i и j – объекты сравнения; $h = 1, 2, 3$ – показатели объектов.

Матрица предпочтений имеет следующий вид (табл. 2).

Таблица 2

Матрица предпочтений

	1	2	...	Y
1	0	0	...	0
2	0	0	...	0
...
Y	1	0	...	1

Номера столбцов, в которых все нули, соответствуют номерам ПСТС первого ранга. Ранжирование представляет собой итеративную процедуру: вычеркиванием столбцов и строк, соответствующих этим объектам, получаем следующую таблицу, в которой повторяется процедура определения высшего ранга.

$$1 \text{ ранг} = \{u_{y1}\};$$

...

$$k \text{ ранг} = \{u_{yk}\}.$$

Итак, получили множество рангов влияния отказа ПСТС на достижение общей цели СТС $R = \{R_k\}$, 1 В __ R k В __ R Y и группы ПСТС, ранжированные по степени влияния на достижение общей цели СТС $U_r = \{u_{yk}\}$. Первому рангу соответствует наиболее, а последнему – наименее «опасная» ПСТС в плане создания ситуации не достижения СТС цели функционирования. Алгоритм ранжирования элементов СТС представлен на рисунке 2.

Для распределения ПСТС как элементов СТС между соответствующими видами ТО необходимо выбрать критериальные значения рангов R_H и R_B . R_H – значение ранга, определяющее необходимость проведения планового технического обслуживания в соответствии с целью ранжирования, R_B – значение ранга, определяющее возможность проведения технического обслуживания по отказам.

Выходными данными методики определения вида проводимого технического обслуживания на элементах СТС являются ПСТС, ранжированные по степени влияния на достижение общей цели СТС и соответствующие им виды ТО.

Заключение

Таким образом, методика определения вида проводимого технического обслуживания на элементах СТС может быть применена для формирования стратегии поддержания работоспособного состояния СТС, а также определения ПСТС, на которых проведение ТО является первоочередным, если не представляется возможным провести ТО в полном объеме. Методика позволяет изменять значения показателей по обстановке и получать ранги и соответствующие виды ТО, соответствующие реальному состоянию техники.

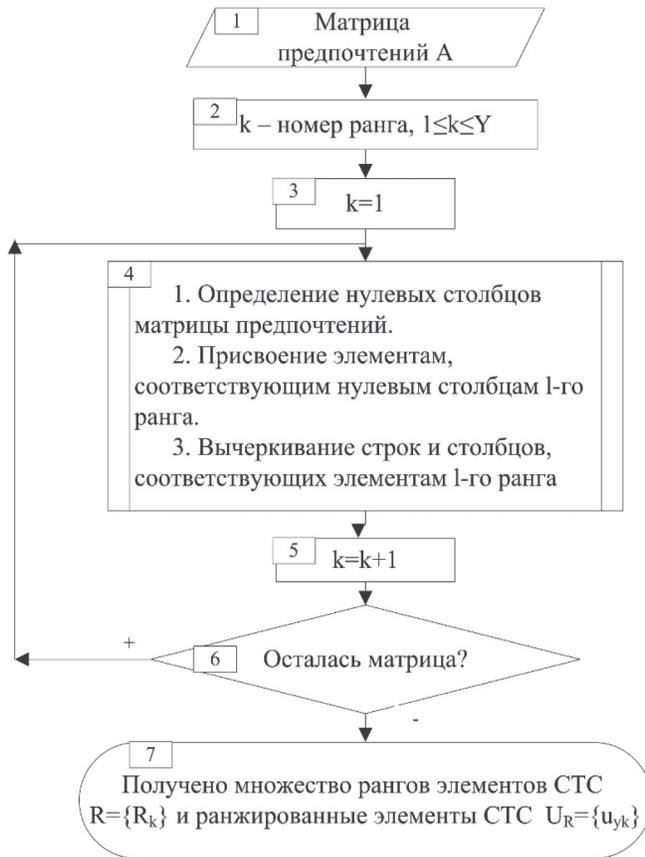


Рис. 2. Алгоритм ранжирования элементов СТС

Литература

1. ГОСТ 22.2.04–2012. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные аварии и катастрофы. Метрологическое обеспечение контроля состояния сложных технических систем. Основные положения и правила. М.: Стандартинформ, 2019. 14 с.
2. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 23 с.
3. ГОСТ 18322–2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2017. 14 с.
4. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998. 376 с.

References

1. GOST 22.2.04-2012. Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh. Tekhnogennyye avarii i katastrofy. Metrologicheskoye obespecheniye kontrolya sostoyaniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem. Osnovnyye polozheniya i pravila [Safety in emergencies. Technogenic accidents and

disasters. Metrological support for monitoring the state of complex technical systems. Basic provisions and rules]. Moscow, Standartinform Publishing, 2019, 14 p. (in Russian).

2. GOST 27.002-2015. Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya [Reliability in technology. Terms and Definitions]. Moscow, Standartinform Publishing, 2016, 23 p. (in Russian).

3. GOST 18322-2016. Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta tekhniki. Terminy i opredeleniya. [System of technical maintenance and repair of equipment. Terms and Definitions]. Moscow, Standartinform Publishing, 2017, 14 p. (in Russian).

4. Trahtengerc E.A. (1998) *Komp'yuternaya podderzhka prinyatiya resheniy* [Computer support for decision making]. Moscow, SINTEG Publishing, 376 p. (in Russian).