

## СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СТРАТЕГИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

*В статье рассматривается сравнительное исследование различных стратегий технического обслуживания. В исследовании используются четыре тестовых объекта, различающиеся по своим структурным характеристикам и характеристикам надежности. Это, помимо прочего, позволяет проверить и одновременно продемонстрировать “работоспособность” разработанных методик определения оптимальных параметров различных стратегий технического обслуживания при различных исходных данных.*

*Ключевые слова: среднее время восстановления элемента, техническое обслуживание, удельные потери стоимости.*

**Вступление.** Сложность процессов технического обслуживания (ТО) и многообразие влияющих на них факторов существенно затрудняют выбор между различными стратегиями ТО. Для объективного сравнения достоинств и недостатков различных стратегий ТО необходимо обеспечить примерное равенство (одинаковость) условий, в которых они применяются.

При сравнении различных стратегий ТО мы будем руководствоваться следующими принципами:

- сравнивать различные стратегии ТО можно только по результатам их применения к одному и тому же объекту;
- тестовые объекты (на которых производится сравнение стратегий ТО) должны быть сопоставимы по структуре временных и стоимостных затрат на ТО и текущий ремонт;
- показатели качества процесса ТО (целевые функции), по которым производится сравнение различных стратегий ТО, должны оцениваться на одинаковых интервалах эксплуатации объекта и при одинаковых параметрах процесса моделирования (если сравнение стратегий ТО производится по результатам моделирования);
- сравниваться должны характеристики процесса ТО, полученные при оптимальных параметрах стратегий ТО, то есть сравниваться должны потенциальные возможности различных стратегий ТО.

**Основная часть.** В исследовании используются 4 тестовых объекта, различающиеся по своим надежностным и структурным характеристикам. Это, помимо прочего, позволяет проверить и одновременно продемонстрировать “работоспособность” разработанных методик определения оптимальных параметров различных стратегий ТО при различных исходных данных.

Для обеспечения сопоставимости структуры временных и стоимостных затрат на ТО и текущий ремонт задавались одинаковые для всех элементов и объектов характеристики ремонтпригодности и стоимости.

Одинаковым для всех тестовых объектов заданы также и показатели, зависящие от предназначения объекта – удельные потери стоимости, которые несет внешняя система (в которой используется данный объект) в состоянии отказа объекта  $c_{отк} = 10$  у.е./ч, и в состоянии ТО  $c_{то} = 1$  у.е./ч.

Для всех тестовых объектов по разработанным методикам [1,2] определены оптимальные параметры для трех стратегий ТО. Для краткости, как и ранее, будем называть их: “ТО по состоянию”, “адаптивное ТО” и “ТО по ресурсу”.

Все расчеты производились для продолжительности эксплуатации  $T_3 = 20$  лет при непрерывной работе объектов.

Оптимальные параметры различных стратегий ТО определялись при идеализированном предположении о существовании для тестовых объектов измеряемых определяющих параметров для наименее надежных элементов, относящихся к множеству восстанавливаемых элементов  $E_B$ . Подмножества потенциально обслуживаемых элементов  $E_{ТО}$  задавались таким образом, что в них включались все наименее надежные элементы. В тестовых объектах отсутствуют элементы, надежность которых была бы ниже, чем надежность любого из элементов  $E_{ТО}$  ( $E_{ТО} \subset E_B$ ). Очевидно, что при этом условии при оптимальных параметрах стратегий ТО обеспечивается максимальная, потенциально возможная эффективность ТО, скорее всего недостижимая на практике.

В табл. 1-4 представлены итоговые результаты расчетов оптимальных параметров различных стратегий ТО. На рис. 1-4 приведены графики средней наработки на отказ  $T_0$  и удельной стоимости эксплуатации  $c_{уд}$  от числа обслуживаемых элементов, получаемые при оптимальных параметрах соответствующих стратегий ТО.

Таблица 1

Сравнительные оценки показателей  $T_0$ ,  $c_{уд}$  и  $K_{ти}$  для объекта Test-1 при различных стратегиях ТО

Стратегия ТО		ТО по состоянию	Адаптивное ТО	ТО по ресурсу	Без ТО
Показатели (целевые функции)	$T_0$ , ч	1660	1662	1609	1236
	$c_{уд}$ , у.е./ч	0,01461	0,01408	0,01695	0,02187
	$K_{ти}$	0,99851	0,99877	0,99689	0,99919
	$\varepsilon$	0,180	0,179	0,184	0,085
Параметры оптимальной стратегии ТО ( $T_0^{пр} = 1500$ ч)		$ E_{ТО}^*  = 3$ $U_{ТО}^* = \{0,5; 0,4; 0,5\}$ $T_k^* = 1200$ ч	$ E_{ТО}^*  = 3$ $U_{ТО}^* = \{0,5; 0,4; 0,5\}$ $\gamma^* = 0,45; \beta = 0,5$	$N_{ТО}^* = 1$ $ E_{ТО1}^*  = 3$ $T_{ТО}^* = 1400$ ч	-

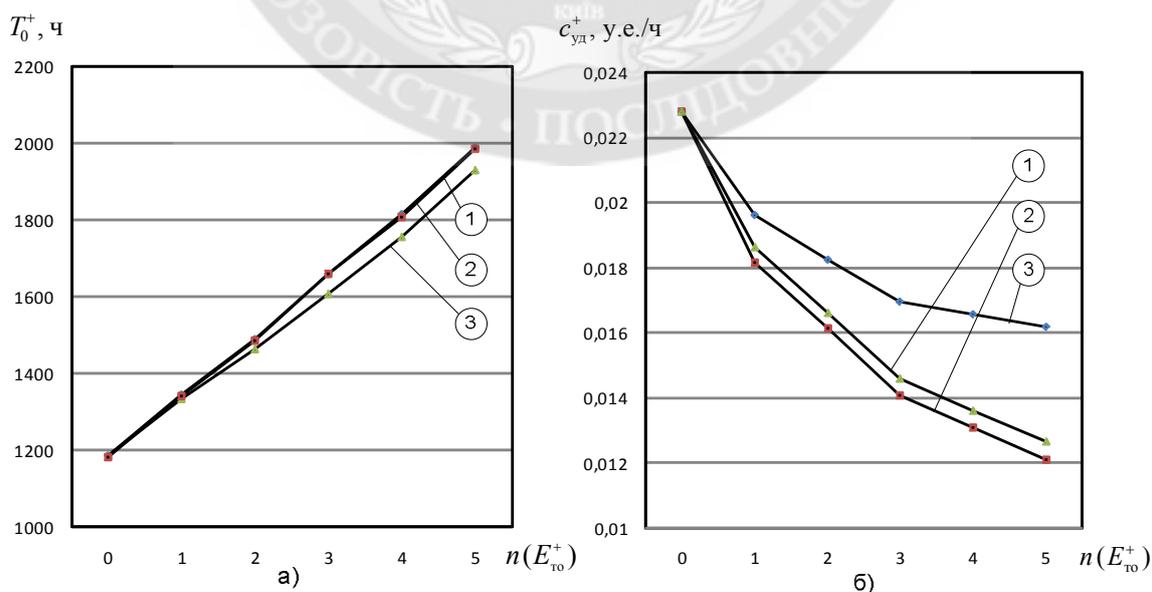


Рис. 1. Графики зависимости показателей  $T_0^+$  и  $c_{уд}^+$  от числа обслуживаемых элементов при различных стратегиях ТО (объект Test-1):  
1 – ТО по состоянию; 2 – адаптивное ТО; 3 – ТО по ресурсу

Таблица 2

Сравнительные оценки показателей  $T_0$ ,  $c_{уд}$  и  $K_{ти}$  для объекта Test-2 при различных стратегиях ТО

Стратегия ТО		ТО по состоянию	Адаптивное ТО	ТО по ресурсу	Без ТО
Показатели (целевые функции)	$T_0$ , ч	695	702	676	294
	$c_{уд}$ , у.е./ч	0,09852	0,08801	0,12009	0,66572
	$K_{ти}$	0,98610	0,99374	0,97564	0,99708
	$\varepsilon$	0,111	0,112	0,113	0,069
Параметры оптимальной стратегии ТО ( $T_0^{TP} = 600$ ч)		$ E_{то}^*  = 5$ $U_{то}^* = \{0,55; 0,45; 0,25; 0,6; 0,5\}$ $T_k^* = 250$ ч	$ E_{то}^*  = 5$ $U_{то}^* = \{0,6; 0,55; 0,6, 0,5; 0,6\}$ $\gamma^* = 0,45; \beta = 0,5$	$N_{то}^* = 1$ $ E_{то1}^*  = 5$ $T_{то}^* = 240$ ч	-

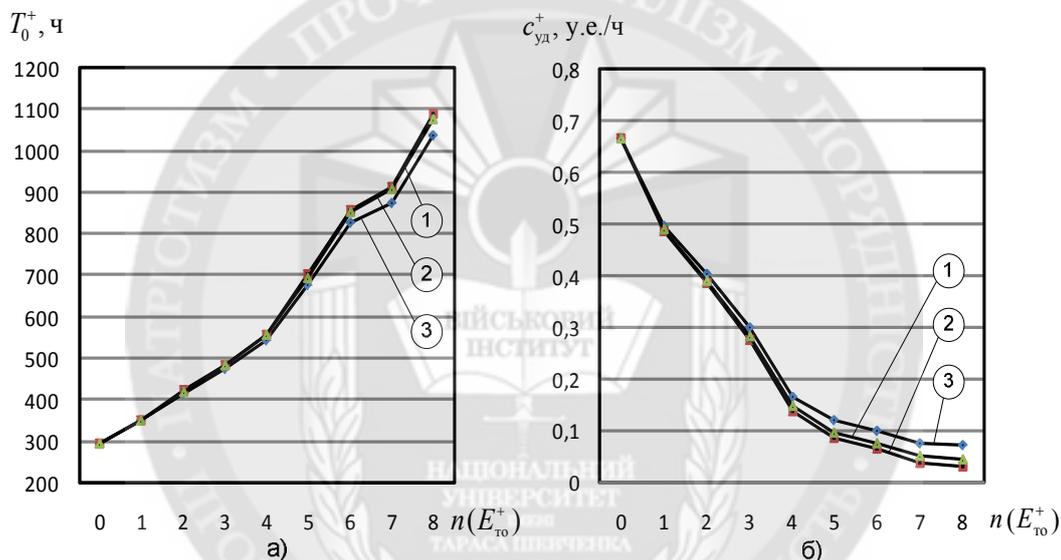


Рис. 2. Графики зависимости показателей  $T_0^+$  и  $c_{уд}^+$  от числа обслуживаемых элементов при различных стратегиях ТО (объект Test-2):  
 1 – ТО по состоянию; 2 – адаптивное ТО; 3 – ТО по ресурсу

Таблица 3

Сравнительные оценки показателей  $T_0$ ,  $c_{уд}$  и  $K_{ти}$  для объекта Test-3 при различных стратегиях ТО

Стратегия ТО		ТО по состоянию	Адаптивное ТО	ТО по ресурсу	Без ТО
Показатели (целевые функции)	$T_0$ , ч	15194	15136	15009	9458
	$c_{уд}$ , у.е./ч	0,00154	0,00151	0,00169	0,00232
	$K_{ти}$	0,99982	0,99984	0,99967	0,99978
	$\varepsilon$	0,487	0,448	0,493	0,367
Параметры оптимальной стратегии ТО ( $T_0^{TP} = 15000$ ч)		$ E_{то}^*  = 3$ $U_{то}^* = \{0,5; 0,5; 0,5\}$ $T_k^* = 10500$ ч	$ E_{то}^*  = 3$ $U_{то}^* = \{0,7; 0,6; 0,5\}$ $\gamma^* = 0,4; \beta = 0,5$	$N_{то}^* = 1$ $ E_{то1}^*  = 4$ $T_{то}^* = 16000$ ч	-

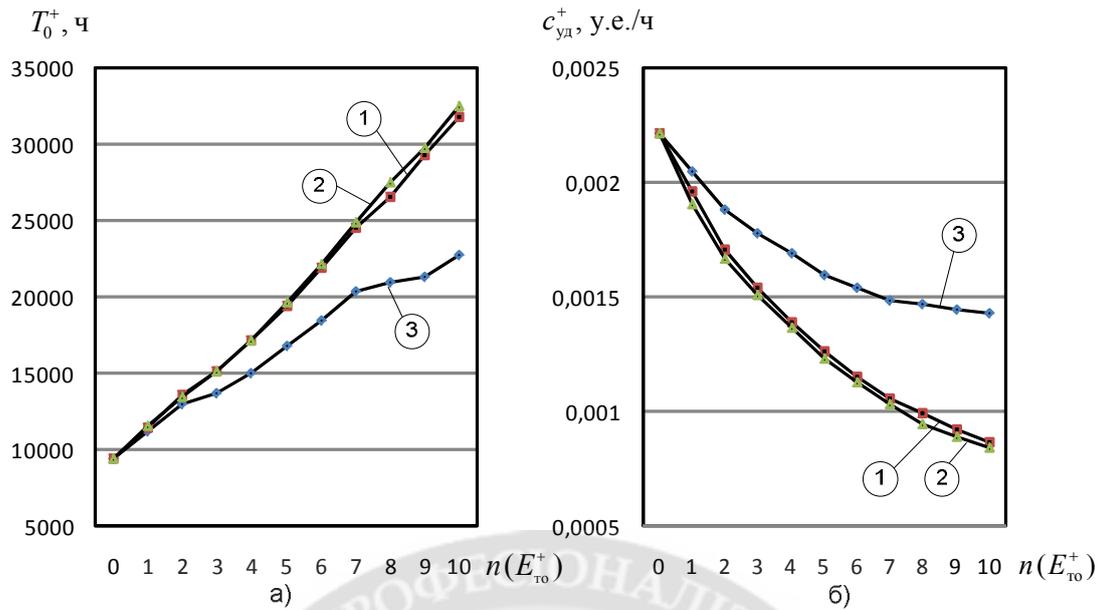


Рис. 3. Графики зависимости показателей  $T_0^+$  и  $c_{уд}^+$  от числа обслуживаемых элементов при различных стратегиях ТО (объект Test-3):  
1 – ТО по состоянию; 2 – адаптивное ТО; 3 – ТО по ресурсу

Таблица 4

Сравнительные оценки показателей  $T_0$ ,  $c_{уд}$  и  $K_{ти}$  для объекта Test-4 при различных стратегиях ТО

Стратегия ТО		ТО по состоянию	Адаптивное ТО	ТО по ресурсу	Без ТО
Показатели (целевые функции)	$T_0$ , ч	6575	5566	4879	914
	$c_{уд}$ , у.е./ч	0,00668	0,00637	0,01180	0,02296
	$K_{ти}$	0,99736	0,99776	0,99323	0,99890
	$\varepsilon$	0,268	0,209	0,311	0,113
Параметры оптимальной стратегии ТО ( $T_0^{тр} = 5000$ ч)		$ E_{то}^*  = 4$ $U_{то}^* = \{0,5; 0,55; 0,65; 0,85\}$ $T_k^* = 500$ ч	$ E_{то}^*  = 3$ $U_{то}^* = \{0,55; 0,55; 0,55\}$ $\gamma^* = 0,5; \beta = 0,5$	$N_{то}^* = 3$ $ E_{то1}^*  = 3$ $T_{то1}^* = 600$ ч $ E_{то2}^*  = 3$ $T_{то2}^* = 6000$ ч $ E_{то3}^*  = 4$ $T_{то3}^* = 22000$ ч	-

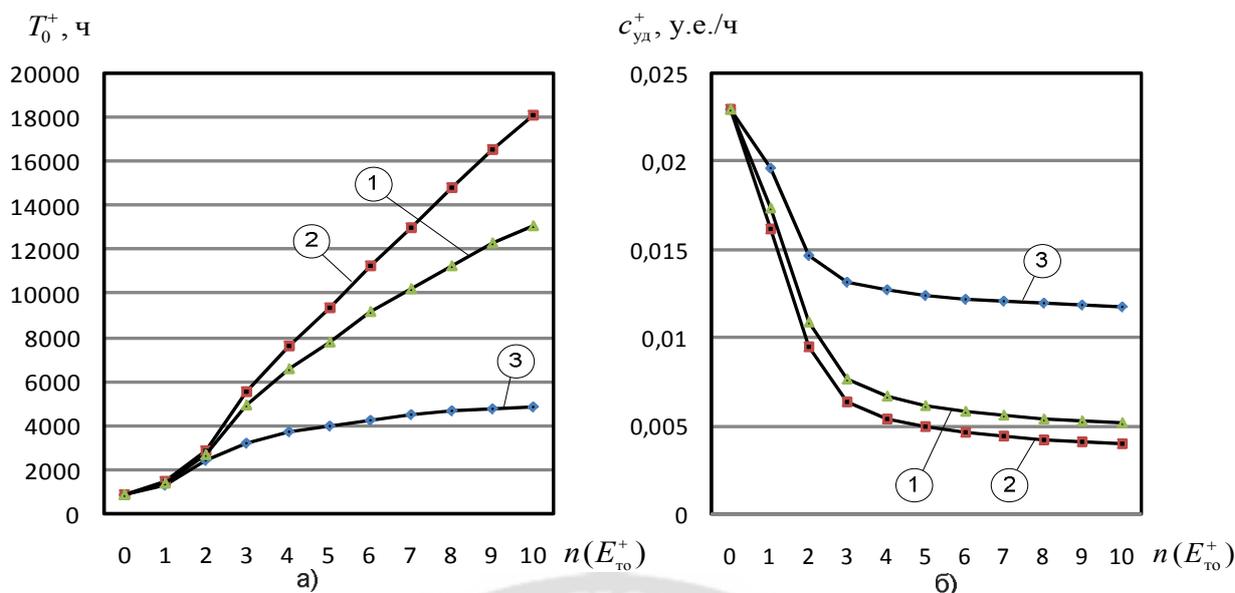


Рис. 4. Графики зависимости показателей  $T_0^+$  и  $c_{уд}^+$  от числа обслуживаемых элементов при различных стратегиях ТО (объект Test-4):  
1 – ТО по состоянию; 2 – адаптивное ТО; 3 – ТО по ресурсу

По полученным результатам можно сделать такие **выводы**:

1. Лучшей по показателям средней наработки на отказ  $T_0^+$  и удельной стоимости эксплуатации  $c_{уд}^+$  является стратегия “адаптивное ТО”. Затем следует стратегия “ТО по состоянию”. Худшей является стратегия “ТО по ресурсу”. Стратегия ТО считается лучшей, если график функции  $T_0^+$  располагается выше (для функции  $c_{уд}^+$  – ниже) по отношению к соответствующему графику для сравниваемой стратегии. Стратегия ТО, лучшая по показателю  $T_0^+$ , как правило, является лучшей и по показателю  $c_{уд}^+$ , и наоборот.

2. Стратегии “ТО по состоянию” и “адаптивное ТО” весьма близки по получаемым показателям. Это объясняется их общей сущностью – при проведении ТО используется информация о фактическом текущем состоянии объекта.

3. Эффективность различных стратегий ТО существенно зависит от надежность-стоимостной структуры объекта. Если распределение стоимости восстанавливаемых (в том числе и обслуживаемых) элементов близко коррелируется с распределением их показателей безотказности, различие в эффективности различных стратегий ТО сокращается. Это хорошо видно на примере объекта Test-2, для которого наименее надежные элементы одновременно являются и наиболее дорогостоящими.

4. Оптимальные параметры различных стратегий ТО существенно зависят как от надежность-стоимостной структуры объекта, так и от заданного требования к уровню безотказности объекта  $T_0^{тр}$ . Чем больше заданное значение  $T_0^{тр}$ , тем большее количество обслуживаемых элементов должно включаться в оптимальную стратегию ТО.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Банзак Г.В. База данных о надежности сложных объектов радиоэлектронной техники / К.Ф.Боряк, В.Н.Цыцарев, Г.В.Банзак // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2010. – № 27. – С.89 – 97.
2. Оценка показателей безотказности сложного восстанавливаемого объекта РЭТ при

произвольных законах распределения наработки до отказа элементов / С.В.Ленков, К.Ф.Боряк, В.Н.Цыцарев, Г.В.Банзак, В.В.Крыхта // Сучасна спеціальна техніка. – 2010. – № 3(22). – С.86 – 98.

**Рецензент:** д.т.н., проф. **Ленков С.В.**, начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.т.н. Банзак Г.В., к.т.н. Банзак О.В., Савран В.А.  
**ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНИХ СТРАТЕГІЙ ТЕХНІЧНОГО  
ОБСЛУГОВУВАННЯ**

*У статті розглядається порівняльне дослідження різних стратегій технічного обслуговування. У дослідженні використовуються чотири тестових об'єкти, що розрізняються по своїх структурних характеристиках і характеристикам надійності. Це, крім іншого, дозволяє перевірити й одночасно продемонструвати "працездатність" розроблених методик визначення оптимальних параметрів різних стратегій технічного обслуговування при різних вихідних даних.*

*Ключові слова:* середній час відновлення елемента, технічне обслуговування, питомі втрати вартості.

G.Banzak , O. Banzak, V. Savran

**A COMPARATIVE STUDY OF DIFFERENT STRATEGIES OF MAINTENANCE**

*In clause comparative research of various strategy of maintenance service is considered. In research four test objects differing under the structural characteristics and characteristics of reliability are used. It, besides other, allows to check up and simultaneously to show "working capacity" of the developed techniques of definition of optimum parameters of various strategy of maintenance service at various initial data.*

*Keywords:* average time of restoration of an element, maintenance service, specific losses of cost.

