

УДК 519.873

С.Г. Глеч, доцент, канд. тех. наук

И.В. Ольшанская, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: glech2004@ukr.net

## КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОДНОКОМПОНЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

*Разработаны критерии оценки качества функционирования однокомпонентных технологических комплексов, которые можно использовать для принятия решений при управлении периодичностью технического обслуживания.*

**Ключевые слова:** критерий оценки качества функционирования, техническое обслуживание, технологический комплекс.

**Введение и цель.** Важнейшей задачей эксплуатации (технологических комплексов) ТК является нахождение оптимальной периодичности (технического обслуживания) ТО по заданному критерию. Правильный выбор сроков проведения ТО позволяет без привлечения дополнительных средств повысить надежность функционирования ТК [1]. Возникает необходимость разработки моделей, с помощью которых стало бы возможным формировать по заданным исходным данным общую совокупность вариантов и стратегий проведения ТО, проводить их сравнительный анализ и отбор вплоть до выделения оптимальной стратегии и правила проведения ТО при синтезе ТК [2].

**Обзор литературы и постановка задачи.** Возможно решение следующих задач оптимизации для однокомпонентных ТК [2]: определение периодичности ТО, обеспечивающей максимальный стационарный коэффициент готовности для различных стратегий ТО; определение периодичности ТО, обеспечивающей максимальную среднюю прибыль в единицу календарного времени; определение периодичности ТО, обеспечивающей минимальные средние затраты в единицу времени исправного функционирования.

**Основная часть.** Экономическими критериями оценки качества функционирования ТК с учетом ТО на бесконечном интервале времени являются [1, 3]:  $S$  – средняя прибыль в единицу календарного времени;  $C$  – средние затраты в единицу времени исправного функционирования.

Средняя прибыль определяется следующим выражением [4]:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{S(t)}{t} = \int_E \pi(dy) f_S(y),$$

где  $S(t)$  – прибыль за время функционирования  $t$ ;  $\pi(dy)$  – стационарное распределение полумарковского процесса  $\xi(t)$ ;  $f_S(y)$  – ограниченная  $B$ -измеримая функция.

Стационарное распределение полумарковского процесса  $\xi(t)$  равно

$$\pi(B) = \int_B \rho(dx) m(x) / \int_E \rho(dx) m(x),$$

где  $\rho(dx)$  – стационарное распределение ВЦМ  $\{\xi_n, n \geq 0\}$ ;  $m(x)$  – средние значения времен пребывания в состояниях системы.

Таким образом, получаем

$$S = \int_E \rho(dx) m(x) f_S(x) / \int_E \rho(dx) m(x). \quad (1)$$

Средние затраты определяются зависимостью [4]:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{C(t)}{T(t)} = \frac{\int_E \pi(dy) f_C(y)}{\int_E \pi(dy) f_T(y)},$$

где  $C(t)$  – затраты за время функционирования  $t$ ,  $T(t)$  – время исправного функционирования системы за время  $t$ .

Функция  $f_T(y)$  имеет следующий вид:

$$f_T(y) = \begin{cases} 1, & y \in E_+; \\ 0, & y \in E_- . \end{cases}$$

Таким образом, получаем

$$C = \int_E \rho(dx)m(x)f_C(x) / \int_{E_+} \rho(dx)m(x) . \tag{2}$$

Основой решения оптимизационных задач являются аналитические выражения стационарных коэффициентов готовности однокомпонентных ТК, полученные в [5].

В данном случае как средняя прибыль в единицу календарного времени, так и средние затраты в единицу времени исправного функционирования являются функциями одной переменной  $\tau$  – периодичности ТО. Из необходимого условия экстремума находятся корни и проверяются с помощью достаточного условия. Для проверки в некоторых случаях при определении экстремума ( $\tau_{opt}$ ) функции использовался метод перебора. Поиск осуществлялся в области  $0 \leq \tau \leq 2,5\lambda$ , где  $\lambda$  – математическое ожидание времени безотказной работы ТК.

Задача формулируется так: найти оптимальную периодичность ТО  $\tau_{opt}$ , обеспечивающую максимальную среднюю прибыль в единицу календарного времени либо минимальные средние затраты в единицу времени исправного функционирования ТК. Формализованная постановка:

$$\begin{aligned} (\tau_{opt}) &\rightarrow \max S(\tau_{opt}), \\ (\tau_{opt}) &\rightarrow \min C(\tau_{opt}). \end{aligned}$$

Исследования проводятся применительно к распределению Эрланга, которое наиболее часто используется в теории надежности [2]:

$$F(t) = 1 - e^{-\alpha t} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(\alpha t)^k}{k!} .$$

При  $n=1$   $F(t) = 1 - e^{-\alpha t}$  (экспоненциальное распределение). Математическое ожидание равно  $\mu = \frac{n}{\alpha}$ .

Введены следующие обозначения:  $c_1$  – прибыль, получаемая за единицу времени исправного функционирования ТК;  $c_2$  – затраты за единицу времени восстановления системы;  $c_3$  – затраты за единицу времени ТО ТК.

Исходными данными для расчета  $\tau_{opt}$  однокомпонентных ТК служат [5]: среднее ВБР  $M\alpha_1 = 56$  ч, среднее ВВ  $M\beta_1 = 30$  ч, длительность ТО  $M\beta_2 = 5$  ч, случайные величины  $\alpha_1, \beta_1, \beta_2$  имеют распределение Эрланга 4-го порядка. Здесь  $c_1 = 2$  у.е.,  $c_2 = 2$  у.е.,  $c_3 = 1$  у.е.

а) ТК с учетом ТО по наработке

Функции  $f_S(y)$  и  $f_C(y)$  имеют следующий вид:

$$f_S(y) = \begin{cases} c_1, & y \in E_1; \\ -c_2, & y \in E_0; \\ -c_3, & y \in E_2. \end{cases} \quad f_C(y) = \begin{cases} 0, & y \in E_1; \\ c_2, & y \in E_0; \\ c_3, & y \in E_2. \end{cases}$$

Средняя прибыль определяется соотношением:

$$S(\tau) = \frac{c_1 \int_0^\tau \bar{F}_1(t) dt - c_2 M\beta_1 F_1(\tau) - c_3 M\beta_2 \bar{F}_1(\tau)}{\int_0^\tau \bar{F}_1(t) dt + M\beta_2 \bar{F}_1(\tau) + M\beta_1 F_1(\tau)} . \tag{3}$$

Средние затраты находятся из выражения:

$$C(\tau) = \frac{c_2 M\beta_1 F_1(\tau) + c_3 M\beta_2 \bar{F}_1(\tau)}{\int_0^\tau \bar{F}_1(t) dt} . \tag{4}$$

Формулы (3), (4) использованы для нахождения оптимального значения  $\tau$ , при котором  $S$  и  $C$  достигают экстремальных значений. Полученные результаты сведены в таблицу 1.

Таблиця 1 – Оптимальная периодичность ТО  $\tau_{opt}$  и значения  $S(\tau_{opt})$  и  $C(\tau_{opt})$ 

Исходные данные			Результаты				
Вид распределения	$M\alpha_1$	$M\beta_1$	$M\beta_2$	$\tau_{opt}$	$S(\tau_{opt})$	$\tau_{opt}$	$C(\tau_{opt})$
	ч	ч	ч	ч	у.е./ч	ч	у.е./ч
1. Показательный	56	30	5	$\infty$	0,302	$\infty$	1,07
2. Эрланга IV порядка	56	30	5	20,67	1,198	17,82	0,409
3. Эрланга IV порядка	56	30	8	25,26	1,013	21,91	0,551
4. Эрланга IV порядка	50	30	5	18,43	1,128	16,08	0,458
5. Эрланга VI порядка	56	30	5	23,33	1,335	20,67	0,312

б) ТК с учетом календарного ТО

Функции  $f_S(y)$  и  $f_C(y)$  имеют следующий вид:

$$f_S(y) = \begin{cases} c_1, y \in E_{210}, E_{112x}; \\ -c_2, y \in E_{102x}; \\ -c_3, y \in E_{221}. \end{cases} \quad f_C(y) = \begin{cases} 0, y \in E_{210}, E_{112x}; \\ c_2, y \in E_{102x}; \\ c_3, y \in E_{221}. \end{cases}$$

Средняя прибыль определяется выражением:

$$S(\tau) \approx \frac{c_1 \cdot \tau - c_3 \cdot M\beta_2 - c_2 \int_0^\tau H_1(\tau-t) \bar{G}_1(t) dt}{\tau + M\beta_2 + \int_0^\tau H_1(\tau-t) \bar{G}_1(t) dt}. \quad (5)$$

Средние затраты находятся из соотношения:

$$C(\tau) \approx \frac{c_3 \cdot M\beta_2 + c_2 \int_0^\tau H_1(\tau-t) \bar{G}_1(t) dt}{\tau}. \quad (6)$$

Результаты расчетов по формулам (5) и (6) сведены в таблицу 2.

Таблиця 2 – Оптимальная периодичность ТО  $\tau_{opt}$  и соответствующие значения  $S(\tau_{opt})$  и  $C(\tau_{opt})$ 

Исходные данные			Результаты				
Вид распределения	$M\alpha_1$	$M\beta_1$	$M\beta_2$	$\tau_{opt}$	$S(\tau_{opt})$	$\tau_{opt}$	$C(\tau_{opt})$
	ч	ч	ч	ч	у.е./ч	ч	у.е./ч
1. Показательный	56	30	5	$\infty$	0,332	$\infty$	1,16
2. Эрланга IV порядка	56	30	5	21,5	1,288	19,2	0,51
3. Эрланга IV порядка	56	30	8	26,1	1,113	24,1	0,59
4. Эрланга IV порядка	50	30	5	20,0	1,218	17,5	0,57
5. Эрланга VI порядка	56	30	5	24,6	1,455	22,7	0,43

в) ТК с мгновенно пополняемым резервом времени с учетом ТО

Функции  $f_S(y)$  и  $f_C(y)$  имеют следующий вид:

$$f_S(y) = \begin{cases} c_1, y \in E_{210}, E_{112x}; \\ c_1 - c_2, y \in E_{132x}; \\ c_1 - c_3, y \in E_{221}. \end{cases} \quad f_C(y) = \begin{cases} 0, y \in E_{210}, E_{112x}; \\ c_2 - c_1, y \in E_{132x}; \\ c_3 - c_1, y \in E_{221}. \end{cases}$$

Средняя прибыль находится из соотношения:

$$S(\tau) \approx \frac{c_1 \cdot \tau + (c_1 - c_3)M(\beta_2 \wedge h) + (c_1 - c_2) \int_0^h H_1(\tau-t) \bar{G}_1(t) dt}{\tau + M(\beta_2 \wedge h) + \int_0^h H_1(\tau-t) \bar{G}_1(t) dt}. \quad (7)$$

Средние затраты определяются выражением:

$$C(\tau) \approx \frac{(c_3 - c_1)M(\beta_2 \wedge h) + (c_2 - c_1) \int_0^h H_1(\tau - t) \bar{G}_1(t) dt}{\tau + M(\beta_2 \wedge h) + \int_0^h H_1(\tau - t) \bar{G}_1(t) dt}. \quad (8)$$

Полученные результаты расчетов сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Оптимальная периодичность ТО  $\tau_{opt}$  и соответствующие значения  $S(\tau_{opt})$  и  $C(\tau_{opt})$

Исходные данные				Результаты			
Вид распределения	$M\alpha_1$	$M\beta_1$	$M\beta_2$	$\tau_{opt}$	$S(\tau_{opt})$	$\tau_{opt}$	$C(\tau_{opt})$
	ч	ч	ч	ч	у.е./ч	ч	у.е./ч
1. Показательный	56	30	5	$\infty$	0,362	$\infty$	1,01
2. Эрланга IV порядка	56	30	5	22,01	1,34	19,8	0,401
3. Эрланга IV порядка	56	30	8	26,8	1,214	24,9	0,502
4. Эрланга IV порядка	50	30	5	20,1	1,266	17,1	0,415
5. Эрланга VI порядка	56	30	5	25,2	1,585	23,4	0,396

**Выводы.** Разработаны критерии оценки качества функционирования однокомпонентных технологических комплексов, которые можно использовать для принятия решений при управлении периодичностью технического обслуживания.

**Перспективы дальнейших исследований.** Планируется применить разработанные критерии оценки качества функционирования однокомпонентных технологических комплексов для уменьшения времени простоя оборудования из-за скрытых отказов, что должно повлечь уменьшение расходов на техническое обслуживание технологических комплексов.

#### *Библиографический список использованной литературы*

1. Барзилович Е.Ю. Организация обслуживания при ограниченной информации о надежности системы / Е.Ю. Барзилович, В.А. Каштанов. — М.: Сов. радио, 1975. — 136 с.
2. Надежность технических систем: справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин [и др.]; под ред. И.А. Ушакова. — М.: Радио и связь, 1985. — 608 с.
3. Birnbaum Z.W. On the importance of different components in a multicomponent system / Z.W. Birnbaum // Multivariate Analysis 2. — N. Y.: Academic press, 1969. — P. 154–157.
4. Королюк В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем / В.С. Королюк, А.Ф. Турбин. — К.: Наук. думка, 1982. — 236с.
5. Глеч С.Г. Автоматизация принятия решений при управлении периодичностью технического обслуживания технологических комплексов: дис... канд. техн. наук: 05.13.07: защищ. 11.01.05: утв. 09.03.05 / Глеч Сергей Гариевич. — Севастополь: СевНТУ, 2005. — 227 с.

*Поступила в редакцию 20.01.2014 г.*

#### **Глеч С.Г., Ольшанська І.В. Критерії оцінки якості функціонування однокомпонентних технологічних комплексів**

Розроблено критерії оцінки якості функціонування однокомпонентних технологічних комплексів, які можна використовувати для прийняття рішень при управлінні періодичністю технічного обслуговування.

**Ключові слова:** критерій оцінки якості функціонування, технічне обслуговування, технологічний комплекс.

#### **Glech S.G., Olshanskaya I.V. Criteria of performance onecomponent technological complex**

The criterias for assessing the quality of the functioning of onecomponent technological systems are developed. They can be used for decision-making in the management of maintenance intervals.

**Keywords:** quality criteria for the operation, maintenance, technological complex.