

Л.Д. Чумаков, А.А. Черная

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В СОСТАВЕ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ПРИ
НЕПРЕРЫВНОМ КОНТРОЛЕ ЕЕ ИСПРАВНОСТИ
С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ
ПЕРИОДИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

Аннотация. Обсуждаются вопросы оценки величины эффективности эксплуатации технической системы на этапе ее разработки при наличии иерархической системы управления запасами.

Введение

Большинство сложных технических систем (ТС) не обеспечивают высокого уровня эффективности при их использовании без принятия специальных мер.

Таковыми мерами могут быть контроль технического состояния систем в процессе их эксплуатации, построение и эксплуатация систем управления запасами (СУЗ), выбор оптимальных стратегий эксплуатации ТС и др.

Выбор на этапе проектирования оптимальных структуры СУЗ и количества запасных ТС на каждом уровне СУЗ чрезвычайно важен. Недостаток запасных ТС снижает уровень эффективности ТС, а избыток может существенно увеличить стоимость их эксплуатации.

Анализ публикаций по теме исследования

В работе [1] рассмотрена задача оценки эффективности группы ТС, функционирующих совместно с двухуровневой СУЗ. Считалось, что ТС могут отказывать как при их непосредственном использовании, так и при хранении на складе 1-го уровня. При эксплуатации периодически проверялось техническое состояние ТС.

Приведены формулы для оценки эффективности группы ТС (коэффициента готовности), а также стоимости эксплуатации. Показаны их зависимости от характеристик ТС и СУЗ.

Вместе с тем, при эксплуатации техническое состояние ТС может проверяться не только периодически, но и непрерывно.

В этом случае оценка эффективности технической системы при ее эксплуатации с учетом особенностей СУЗ может вызывать определенные трудности.

Цель статьи

Цель статьи – показать возможности оценки эффективности эксплуатации группы ТС в составе СУЗ при непрерывном контроле их исправности с помощью математической модели для периодического контроля.

Основная часть

Будем рассматривать структуру СУЗ, приведенную на рис. 1.

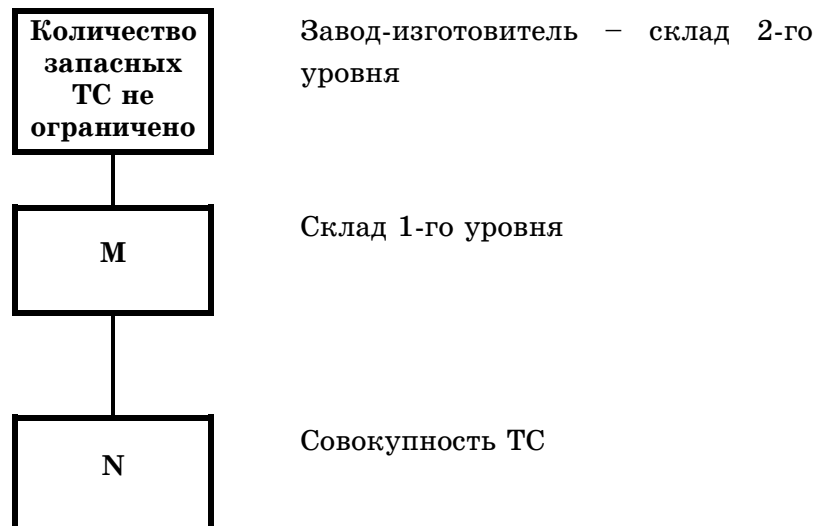


Рисунок 1 - Структура системы управления запасами

Рассматривается процесс эксплуатации множества N однотипных ТС, которые должны выполнить задачу при поступлении команды в случайный момент времени, равномерно распределенный на интервале $(0, T)$. Исправность всех ТС проверяется одновременно с периодичностью θ . При этом число выявленных неисправных ТС при проверке является случайной величиной.

Замена неисправных ТС исправными осуществляется системой обслуживания, в которую входит СУЗ. СУЗ состоит из складов двух уровней. Склад 2-го уровня является заводом-изготовителем.

В складе 1-го уровня содержится M запасных ТС.

Запасные ТС на складе 1-го уровня отказывать в процессе хранения не могут.

В складе 2-го уровня есть неограниченное количество исправных запасных ТС.

При обнаружении отказа неисправная ТС заменяется исправной из склада 1-го уровня. Для этого подается заявка на склад 1-го уровня, где выбирается запасная ТС. Склад 1-го уровня пополняется исправными ТС с завода-изготовителя.

Время наступления отказов основных ТС описывается экспоненциальным распределением, $F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$, для которого параметр $\lambda = \text{const}$.

На проверки исправности ТС тратится время t_θ .

Замена одной неисправной ТС продолжается z единиц времени.

Период между проверками исправности всех устройств находится по формуле:

$$\theta = T / (n + 1), \quad (1)$$

где T – момент окончания эксплуатации ТС, n – число проверок в течение срока эксплуатации.

Эффективность ТС оценивается величиной коэффициента готовности за весь срок эксплуатации, которая определяется по формуле:

$$k_r = \int_D k_r(t) dt / T, \quad (2)$$

где $k_r(t)$ – текущий коэффициент готовности;

D – совокупность межпроверочных интервалов.

$$k_r(t) = \begin{cases} k_r^*(t) & \text{при } t_i'' \leq t \leq t_{i+1}'; \\ 0 & \text{при } t_i' \leq t \leq t_i''. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь t_i' – момент начала i -й периодической проверки ТС; t_i'' – момент окончания обслуживания ТС после i -й проверки; $t_{i+1}' - t_i' = \theta$.

Нижней оценкой для коэффициента готовности является величина

$$k_r = \{1 - \exp(-\lambda \theta) + n[\exp(-\lambda Z) - \exp(-\lambda \theta)]\} / (\lambda T) \quad (4)$$

Здесь Z – длительность устранения неисправности основной ТС.

В результате проведения u -й проверки на склад 1 с вероятностью P_x поступает x заявок:

$$P_x = C_N^x \exp(-\lambda(\theta + \tau_s)(N - x)) [1 - \exp(-\lambda(\theta + \tau_s))]^x \quad (5)$$

где C_N^x – число сочетаний из N по x .

Продолжительность технического обслуживания одной ТС определяется как средняя величина:

$$Z = (\sum x=1MZ1Px + \sum x=M+1NZ2Px) / N, \quad (6)$$

где $Z1$ – продолжительность технического обслуживания с заменой неисправной ТС из склада 1, а $Z2$ – продолжительность технического обслуживания с заменой неисправной ТС из склада 2.

Стоимость эксплуатации определяется по формуле:

$$C = c_1 + (c_n + c_M + c_{z1} + c_{z2} + c_{II}(1 - k_r)) / N. \quad (7)$$

где c_1 – стоимость одной ТС;

c_n – стоимость контроля исправности N ТС;

c_M – стоимость содержания СУЗ;

c_{z1} – стоимость замен из склада 1;

c_{z2} – стоимость замен из склада 2;

c_{II} – стоимость потерь из-за невозможности выполнить поставленную ТС задачу.

Пример. В эксплуатации находится 10 бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ). В состав одной БЦВМ входит: 17 БИС с интенсивностью отказов $9E-07$ 1/час., 72 БИС с интенсивностью отказов $1E-08$ 1/час., 905 СИС с интенсивностью отказов $2,5E-09$ 1/час., 84 ИМС с интенсивностью отказов $9E-09$ 1/час., 1106 трансформаторов с интенсивностью отказов $3E-09$ 1/час., 606 диодов с интенсивностью отказов $2E-09$ 1/час. Интенсивность отказов БЦВМ составляет $2,36E-05$ 1/час. Предполагается эксплуатировать БЦВМ в течение 87600 час. Примем следующие значения характеристик технического обслуживания: $t_э = 20$ час., $Z1 = 5$ час., $Z2 = 20$ час.

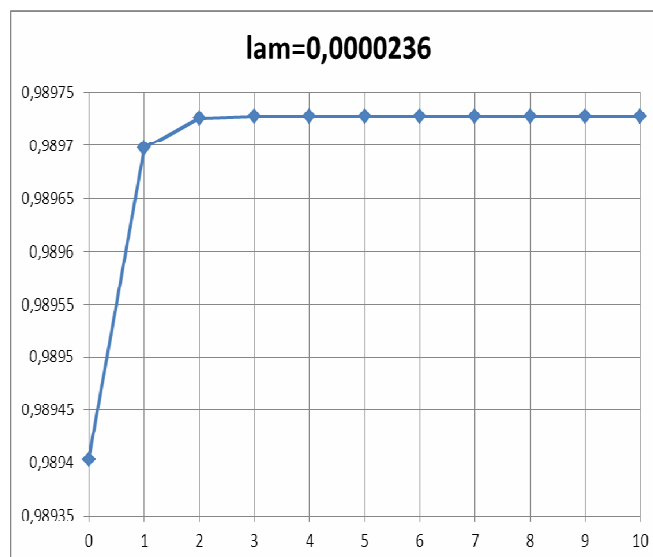


Рисунок 2 - Зависимость $k_r = f(M)$

Для имитации непрерывного контроля исправности ТС в модели периодического контроля значительно увеличивалось число проверок, так что величина межпроверочного интервала существенно уменьшалась.

Из рис. 2 следует, что в зависимости от требований к величине коэффициента готовности, можно изменять структуру СУЗ. Так, если $k_r \leq 0,989$, то можно не использовать специальную СУЗ, а замены осуществлять из завода-изготовителя.

Если же k_r должен быть не менее $0,99$, то необходим склад 1-го уровня с числом запасных ТС $M = 1$.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Таким образом, показана возможность использовать математические модели эксплуатации систем с периодическим контролем технического состояния для оценки эффективности систем с непрерывным контролем их технического состояния. Этот подход позволяет анализировать функционирование иерархических систем управления запасами и находить оптимальные значения их характеристик при проектировании.

В перспективе предполагается проводить работу по дальнейшему исследованию иерархических систем управления запасами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чумаков Л.Д. Определение коэффициента готовности и стоимости периодического обслуживания технического устройства при наличии двухуровневой системы снабжения и ограниченном числе ремонтников [Текст] / Л.Д Чумаков. Вероятностно-статистические методы исследования сложных систем, Наук. Думка, К. : 1977, с. 95-100.