

## ПРОГРАММА ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ДОСТОВЕРНОСТИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРОВЕРЯЕМОГО ОБЪЕКТА

*Для оптимальної двоетапної програми послідовного пошуку несправності визначені помилки першого і другого роду при використуванні як ознак розпізнавання параметрів випадкового процесу. Показаний вплив часу спостереження за реалізацією випадкового процесу на порядок опитування елементів і значення помилок. Визначена імовірність пропуску несправності при пошуку елементу мережі, що відмовив, за перший цикл перевірок.*

*For the optimum accidental program of sequential search of breaks the accidental of the first and second kind at the use as the sign of recognition of parameters of random process are determined. Influencing of accidental of supervision after realization of accidental process on the order of questioning of elements and accidental of accidental is shown. Probabilities of missing of break at the search of failed network node at first cycle of inspection are determined.*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

При эксплуатации телекоммуникационной сети как сложной системы с сосредоточенными и распределенными сетевыми элементами возникают две задачи:

- организация проверки сети к началу её функционирования или её периодической проверки в процессе работы;
- разработка метода поиска неисправных элементов в случае нарушения её работы.

Контроль функционирования сети, поиск и устранение возможных неисправностей являются неотъемлемой частью мероприятий в обеспечении требуемого уровня надежности сети.

Исходными данными для статистической оптимизации процесса контроля работоспособности и поиска неисправности являются:

- пространство проверок;
- стоимость этих проверок;
- априорная вероятность отказа проверяемых элементов;
- достоверность оценки состояния элементов.

---

<sup>15</sup> Киевский колледж связи

Оптимизация поиска (программы проведения проверок) может проводиться с использованием различных критериев. В работе [1] предложена программа проведения последовательности проверок, позволяющая выявить отказавший элемент при наименьшей средней стоимости проверки всей системы. Данная двухэтапная программа поиска (вначале проверка осуществляется в блоках системы, а затем в элементах отказывающего блока) разработана при следующих исходных

данных:

- в сложной системе, состоящей из  $N$  блоков, каждый из которых содержит  $n_i, i=1, N$  элементов, произошел отказ только одного элемента (а значит, и соответствующего блока);

- известны априорные вероятности отказов; отказы элементов независимы (определение работоспособности или отказа какого-либо элемента не влияет на распределение вероятностей других элементов блока);

- в алгоритмах поиска учитываются ошибки первого и второго рода;

- каждый шаг проверки имеет свою стоимость (затраты), куда входят: время, необходимое для получения результатов контроля, аппаратная составляющая контроля и т.д.

При разработке оптимальной или квазиоптимальной процедуры проверки в сети, состоящей из большого количества сетевых и терминальных узлов, необходимо учитывать различия между перегрузками отдельных сетевых узлов, маршрутов, сегментов и физическими отказами оборудования. Исследованию данного вопроса посвящена настоящая статья.

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Оптимальная процедура проверки сводится к следующему правилу: последовательности в поиске неисправности должны быть такими, чтобы на каждом шаге проверки выполнялись условия:

- для блоков: 
$$\max_i \frac{p_i(1-q_i^{(1)})}{c_i + q_i^{(2)}T_i}; \quad (1)$$

- для элементов: 
$$\max_{ki} \frac{p_{ki}(1-q_{ki}^{(1)})}{c_{ki} + q_{ki}^{(2)}P_{ki}}, \quad (2)$$

где  $p_i$  и  $p_{ki}$  – вероятности отказа  $i$ -го блока и  $k$ -го элемента  $i$ -го блока;

$c_i$  и  $c_{ki}$  – соответствующие стоимости однократной проверки блока и элемента;

$q_i^{(1)}$  и  $q_{ki}^{(1)}$  – вероятности ошибок первого рода (вероятности принятия отказавшего блока (элемента) за исправный);

$q_i^{(2)}$  и  $q_{ki}^{(2)}$  – соответствующие вероятности ошибок второго рода (вероятности ложного принятия работоспособного проверяемого объекта за отказавший);

$T_i = \sum_{ki=1}^{n_i} (c_{ki} + q_{ki}^{(2)} \rho_{ki})$  – средние затраты на поиск отказа в  $i$ -ом работоспособном блоке;

$\rho_i$  – стоимость ремонта или замены  $k$ -го элемента в  $i$ -ом блоке.

Значения временной составляющей в стоимости  $c_i$  ( $c_{ki}$ ) и ошибок  $q_i^{(1)}$  ( $q_{ki}^{(1)}$ ) и  $q_i^{(2)}$  ( $q_{ki}^{(2)}$ ) зависят от выбора признаков при распознавании состояния объекта. При использовании в качестве признаков статических характеристик случайного процесса необходимо учитывать время наблюдения  $T$  за реализацией этого процесса для определения ошибок в их оценке. Для стационарного нормального случайного процесса  $\zeta(t)$  с математическим ожиданием  $m_\zeta$ , СКО  $\sigma_\zeta$  и нормированной корреляционной функцией  $\rho(\tau) = e^{-\alpha|\tau|}$  соответствующие ошибки (дисперсии оценок) равны [2]:

$$\text{– для математического ожидания: } \sigma_{mT}^2 = \frac{2\sigma_\zeta^2}{\alpha^2 T^2} (aT - 1 + e^{-aT}), \quad (3)$$

$$\text{– для дисперсии: } \sigma_{\zeta^2 T}^2 = \frac{\sigma_\zeta^4}{\alpha^2 T^2} (2aT - 1 + e^{-2aT}). \quad (4)$$

В качестве оценок математического ожидания и дисперсии взяты среднеинтегральные значения соответственно процессов  $\zeta(t)$  и  $\zeta^2(t)$  на интервале  $(0, T)$ .

В табл. 1 приведены значения  $\sigma_{\zeta T}$  и  $\sigma_{\zeta^2 T}$  в зависимости от  $T$  для  $\alpha=0, 1$  с и  $\sigma_\zeta = 1$ .

Таблица 1

T, с	20	40	60	80	100	120
$\sigma_{mT}^2$	0,75	0,614	0,526	0,467	0,424	0,39

## 2. ОЦЕНКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Вероятности ошибок первого и второго рода для нормального закона распределения случайной величины  $\xi(t)$  с учетом меняющихся значений  $m_\xi$  и  $\sigma_\xi$  в зависимости от  $T$  будут иметь вид:

$$q^{(1)} = 1 - F \left[ \frac{\xi_0(T) - m_{\xi_1}(T)}{\sigma_{\xi_1}(T)} \right],$$

$$q^{(2)} = F \left[ \frac{\xi_0(T) - m_{\xi_2}(T)}{\sigma_{\xi_2}(T)} \right],$$

где  $F(\cdot)$  – функция Лапласа;

$$m_{\xi_1}(\dot{O}) = m_{\xi_1} + \sigma_{mT}; \quad m_{\xi_2}(\dot{O}) = m_{\xi_2} - \sigma_{mT}; \quad \sigma_{\xi_1}(\dot{O}) = \sigma_{\xi_2}(\dot{O}) = \sigma_\xi + \sigma_{\xi^2 T};$$

$m_{\xi_1}, m_{\xi_2}, \sigma_\xi$  – математические ожидания и СКО случайной величины  $\xi(t)$  соответственно для исправного и неисправного состояния проверяемого объекта;

$\xi_0(T)$  – пороговое значение принятия решения об отнесении объекта проверки к исправному и неисправному состояниям.

При принятии решения по критерию Бейеса значение  $\xi_0(T)$  определяется как

$$\xi_0(T) = \frac{m_{\xi_1}(\dot{O}) + m_{\xi_2}(\dot{O})}{2} + \frac{\sigma_\xi^2(\dot{O})}{m_{\xi_2}(\dot{O}) - m_{\xi_1}(\dot{O})} \ln \frac{p_i}{1 - p_i},$$

где  $\ln \frac{p_n}{1 - p_n}$  – коэффициент правдоподобия;

$p_n$  – вероятность неисправного состояния объекта.

Определим  $q^{(1)}$  и  $q^{(2)}$  для  $m_{\xi_1} = 3$ ;  $m_{\xi_2} = 7$ ;  $\sigma_\xi = 1$  и с учетом данных табл. 1 для различных значений  $T$  и  $p_n = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ . Результаты представим в виде соответствующих графиков, показанных на рис. 1 и рис. 2.

Наличие ошибки первого рода  $q^{(1)}$  (вероятности принятия неисправного элемента за исправный) приводит к тому, что за первый цикл проверки отказ может быть не обнаружен. Вероятность такого события определяется формулой [1]

$$P = \sum_{i=1}^N p_i \left[ q_i^{(1)} + (1 - q_i^{(1)}) \prod_{ki=1}^i p_{ki} q_{ki}^{(1)} \right].$$

В соответствии со значением ошибки  $q^{(1)} = f(T)$ , приведенной на рис.1, определим вероятность не обнаружения  $P$  (считаем, что для блоков и элементов с равными вероятностями отказа ошибка одинакова).

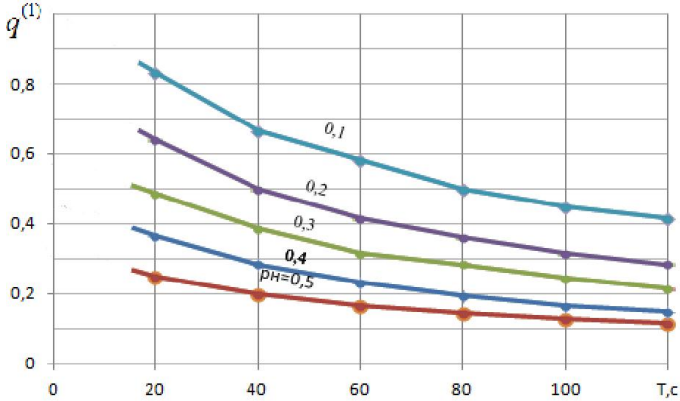


Рис. 1. Зависимость ошибки первого рода  $q^{(1)}$  от времени  $T$

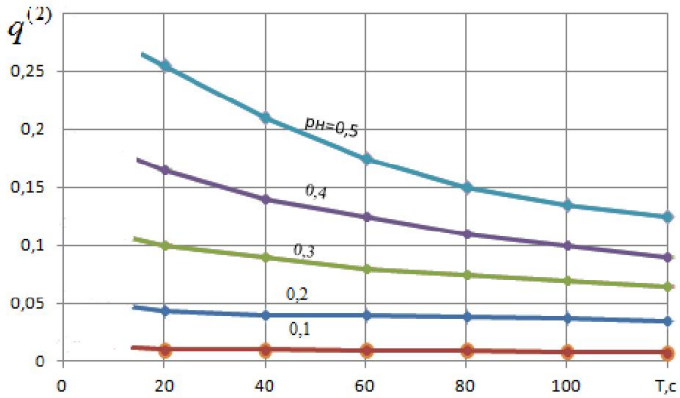


Рис. 2. Зависимость ошибки второго рода  $q^{(2)}$  от времени  $T$

Определение  $P = f(T)$ , проведем при следующих значениях вероятностей отказа в блоках  $P_i$  и элементах  $p_{ki}$ :

$$p_1 = 0,2; \quad p_{k1} = 0,1; 0,3; 0,2; 0,4;$$

$$p_2 = 0,3; \quad p_{k2} = 0,4; 0,1; 0,2; 0,3;$$

$$p_3 = 0,1; \quad p_{k3} = 0,3; \quad 0,2; \quad 0,4; \quad 0,1;$$

$$p_4 = 0,4; \quad p_{k4} = 0,1; \quad 0,2; \quad 0,3; \quad 0,4.$$

Данные расчетов для  $T = 20$  с,  $120$  с и для случая, когда ошибка в оценках  $m_\xi$  и  $\sigma_\xi$  равна нулю ( $T \rightarrow \infty$ ) проведены в табл. 2.

Таблица 2

T, с	20	120	$\infty$
P	0,796	0,409	0,0698

### 3. ВЫВОДЫ

По влиянию времени наблюдения  $T$  за реализацией случайного процесса  $\zeta(t)$  на порядок опроса блоков (элементов) и вероятность обнаружения отказа за первый цикл проверки.

Время реализации случайного процесса, взятое для оценки  $m_\xi$  и  $\sigma_\xi$  случайной величины  $\zeta(t)$  как признака распознавания состояния контролируемого объекта, оказывает существенное влияние на определение последовательности проверок через изменение временной составляющей, стоимости и достоверности распознавания.

При выборе времени  $T$  необходимо учитывать возникающую при контроле вероятность не обнаружения неисправности при первом цикле проверок, которая может достигать значительных величин.

1. Карандеев К.Б. Введение в техническую диагностику / К.Б. Карандеев, Г.Ф. Верзаков ; под ред. К.Б. Карандеева. – М.: «Энергия», 1968. – 224 с.
2. Виленкин С.Я. Статистические методы исследования систем автоматического регулирования / С.Я. Виленкин. – М.: Советское радио, 1967. – 200 с.
3. Родионов С.С., Шматко В.С. Оценка алгоритмов поиска неисправности с учетом времени наблюдения за реализацией случайного процесса / С.С. Родионов, В.С. Шматко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2013. – №1(25). – С. 28-31.