

Используя марковское свойство случайного блуждания  $S(n)$ , имеем  $F^{n*}(x) = \psi_n(x) + \sum_{m=1}^n \int_{-\infty}^0 F^{(n-m)*}(x-y) du_m(y)$ , или, переходя к характеристическим функциям,  $f^n(t) = \psi_n(t) + \sum_{m=1}^n \tilde{u}_m(t) f^{n-m}(t) = \psi_n(t) + \tilde{u}_1(t) f^n(t) + [\tilde{u}_1(t) f^{n-1}(t) + \tilde{u}_2(t) f^{n-2}(t) + \dots + \tilde{u}_n(t)](1-f(t)) - \tilde{u}_{n+1}(t)$ , где  $f(t) = M \exp\{it\xi_1\}$ . Следовательно,

$$\psi_n(t) = f^n(t)(1 - \tilde{u}_1(t)) - \tilde{u}_{n+1}(t) - (1 - f(t)) \sum_{m=1}^{n-1} \tilde{u}_{n-m}(t) f^m(t). \quad (12)$$

Учитывая, что при  $n \rightarrow \infty$  справедливо разложение  $f\left(\frac{1}{n^2}t\right) = 1 - \frac{t^2}{2n} + o\left(\frac{1}{n}\right)$ , в силу (7), (10), (11) и леммы 1.2, получаем из (12) соотношение:

$$q_n(t) \sim it \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left(1 - \frac{t^2}{2n}\right)^n + 1 - \frac{t^2}{2n} \sum_{m=1}^{n-1} \binom{n}{n-m}^{1/2} \left(1 - \frac{t^2}{2n}\right)^m. \quad (13)$$

Нетрудно видеть, что при  $n \rightarrow \infty$

$$\frac{1}{n} \sum_{m=0}^{n-1} \binom{n}{n-m}^{1/2} \left(1 - \frac{t^2}{2n}\right)^m \sim \int_0^1 (1-x)^{-1/2} e^{-xt^2/2} dx. \quad (14)$$

Делая замену  $y = (1-x)^{1/2}$  из (13) и (14) имеем:

$$q_n(t) \rightarrow q(t) = 1 + e^{-\frac{t^2}{2}} \left( it \sqrt{\frac{\pi}{2}} - t^2 \int_0^1 e^{yt^2/2} dy \right). \quad (15)$$

Простые вычисления показывают, что написанное в правой части формулы (15) выражение есть не что иное, как характеристическая функция распределения Релея. Окончательно получаем:

$$Q_n(x) \rightarrow 1 - e^{-x^2/2}.$$

#### **Литература:**

1. Боровков А.А. Вероятностные процессы в теории массового обслуживания / А. А. Боровков. – М.: Наука, 1972, – 368 с.
2. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т.2 / В. Феллер. – М.: Мир, 1967. – 752с
3. Shepp L.A. A local limit theorem. – Ann.Math.Statist., 1964, 35, №1, p.413-423.

УДК 621.391

**Турупалов В. В.,** к.т.н. (Донецкий национальный технический университет)

### **ОЦІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ МАРШРУТУ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ**

**Турупалов В. В. Оцінка функціональної надійності маршруту транспортної мережі.** Запропонована модель оцінювання працездатності маршрутів транспортної телекомунікаційної мережі, яка використовується на етапі планування.

**Ключові слова:** ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ, ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА, НАДІЙНІСТЬ, ПЛАНУВАННЯ, ВІДНОВЛЕННЯ СИСТЕМИ, МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ

**Турупалов В. В. Оценка функциональной надежности маршрута транспортной сети.** Предложена модель оценивания работоспособности маршрутов транспортной телекоммуникационной сети, которая используется на этапе планирования.

**Ключевые слова:** ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ, ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, ПЛАНИРОВАНИЕ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ, МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ

**Turupalov V. V. Estimation of the functional reliability of the transport networks route.** A model of performance evaluation of a transport TCN routes, which is used in the planning stage is offered.

**Keywords:** TELECOMMUNICATIONS, TRANSPORT NETWORK, RELIABILITY, PLANNING, SYSTEM RESTORATION, ESTIMATION MODEL

**Вступ.** Імовірності працездатності маршрутів для транспортної телекомунікаційної мережі (ТКМ) визначаються на підставі даних про працездатність вузлів і ліній, що входять до маршрутів. Працездатність елемента мережі (вузла або лінії) визначається поняттям їхньої доступності. Доступність є важливим фактором оцінки ефективності відновлення системи.

**Основна постановка дослідження.** Для визначення маршруту дослідження розглянемо несиметричну матрицю довжини з'єднувальних ліній  $R = r_{ij}$ , що дозволяє визначити з усієї множини вузлів  $V$  два вузла транспортної ТКМ, які географічно максимально віддалені один від одного. Алгоритм пошуку наступний:

1) на підставі даних матриці  $R$  визначається мінімальна довжина шляху для кожної пари вузлів мережі:

$$R_{min} = \begin{pmatrix} 0 & r_{12\_min} & \dots & r_{1j\_min} & \dots & r_{1s\_min} \\ r_{21\_min} & 0 & \dots & r_{2j\_min} & \dots & r_{2s\_min} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{i1\_min} & r_{i2\_min} & \dots & r_{ij\_min} & \dots & r_{is\_min} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{s1\_min} & r_{s2\_min} & \dots & r_{sj\_min} & \dots & 0 \end{pmatrix}; \quad (1)$$

2) в кожному рядку матриці проводиться пошук максимального значення, і, в остаточному підсумку, зі стовпця відібраних максимальних значень обирається максимум, який і є діаметром мережі  $T = (V, E)$ , тобто – найбільша відстань між двома будь-якими його вершинами визначається за допомогою рівняння:

$$diam\_T = arg\ max_i \left\{ \max_j \left\{ r_{ij\_min} \right\} \right\}, \quad (2)$$

де  $i, j = \overline{1, s}, i \neq j$ .

Припустимо, що відповідно до виразів (1), (2) була знайдена пара вузлів  $(v_a, v_b)$ , які створюють діаметр для транспортної мережі  $T$ , причому  $v_a$  – вузол-джерело,  $v_b$  – вузол призначення.

Для транспортної мережі  $T$  розглянемо поняття *шлях (маршрут)* довжини  $\omega$  – це така послідовність вузлів і каналів, що чергується  $(v_1, e_{12}, v_2, \dots, v_k, e_{kq}, v_q, \dots, e_{l\omega}, v_\omega)$ , для яких  $v_1$  – вузол-джерело,  $v_\omega$  – вузол призначення.

Шлях вважається *ейлеровим*, якщо він проходить через усі ребра графа тільки по одному разу.

Транспортна мережа  $T$  буде містити ейлерів шлях тоді й тільки тоді:

- коли  $v_k$  і  $v_q$  – єдині вузли мережі, що мають непарний ступінь ( $v_k \neq v_q$ );
- якщо він проходить через усі ребра графа тільки по одному разу.

Будемо розглядати транспортні ТКМ, реалізовані за допомогою кільцевих структур, отже розглянуті умови є дійсними, тому що кожний з вузлів має парну кількість введень-виведень.

Визначимо імовірності працездатності елементів мережі – вузлів і ліній зв'язку, які входять до ейлерового шляху, що спрямований з вузла-джерела  $v_a$  до вузла призначення  $v_b$ . Ейлерів шлях  $M_{ab}$  проходить всі канали транспортної мережі тільки по одному разу. Зважаючи на те, що кожна плата мультиплексора відповідає каналу тільки в одному напрямку, отже, кожний вузол мережі буде задіяний тільки один раз. Пропонується вважати, що імовірність працездатності маршруту  $M_{ab}$  відповідає імовірності працездатності всієї

транспортної ТКМ, оскільки в результаті визначення даної імовірності, були задіяні всі канали й вузли мережі. Імовірність працездатності транспортної мережі визначається наступним виразом:

$$P_{ab} = \prod_{\substack{i=1 \\ j=1 \\ i \neq j}}^s P_{node\_i} \cdot P_{link\_ij},$$

де  $P_{link\_ij}$  – імовірність стану працездатності каналу, що з'єднує  $i$ -ий і  $j$ -ий вузли;  
 $P_{node\_i}$  – імовірність стану працездатності  $i$ -ого вузла.

Отже, стану транспортної мережі  $H_{(0)}$  відповідає  $k = 0$  елементів, що відмовили, та імовірність працездатності мережі визначається:

$$P_{(0)} = P_{ab},$$

де  $P_{(0)}$  – імовірність працездатності всіх маршрутів системи.

Аналітично визначається імовірність відмови  $k$  елементів  $P_{(k)}$ , при відмові яких система все ще залишається в стані працездатності. [1,2] Імовірність події  $H_k$  :

$$P_{(k)} = C_n^k \cdot q^k \cdot p^{n-k},$$

де  $p$  – імовірність працездатності маршруту  $M_{ab}$  при відмові  $k$  елементів системи ( $q=1-p$ );  $n$  – загальна кількість елементів транспортної ТКМ (ліній та вузлів).

На основі статистичних випробувань оцінюється живучість мережі. Для цього випадково переводяться в стан відмови елементи транспортної мережі (за допомогою відмов каналів і вузлів мережі) до моменту, поки мережа за показником зв'язності не перейде в стан відмови. Кількість елементів, для якого вперше в даній реалізації відбулася відмова системи  $k_z$ , фіксується. Після проведення  $L$  випробувань, на підставі отриманих значень  $k_z$ , будується залежність імовірності відмови системи від числа елементів. Умовна імовірність зв'язності мережі  $\Phi_{(k)}$  обчислюється на основі наступного вираження [3]:

$$\Phi_{(k)} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{z=1}^L \delta(k_z), \quad \delta(k_z) = \begin{cases} 1, & \text{при } k_z \leq k, \\ 0, & \text{при } k_z > k, \end{cases}$$

де  $L$  – загальна кількість випробувань.

**Результати.** Таким чином, на етапі планування транспортної ТКМ повну імовірність працездатності мережі можна визначити на підставі наступного виразу:

$$P = P_{(0)} + \sum_{k=1}^K \Phi_{(k)} \cdot P_{(k)}.$$

**Висновки.** У запропонованій моделі оцінки надійності транспортної ТКМ враховується монотонний характер структури мережі, а саме, якщо вона перебуває в стані відмови при відмові деякої сукупності елементів, то додавання нових відмов каналів і вузлів не може змінити її стан. Запропонована модель дозволяє проводити оцінку надійності транспортної мережі на етапі планування.

### Література

1. Шебанова Л.О. Аналіз критеріїв оптимальності функціонування транспортних телекомунікаційних мереж [Електронний ресурс] / Л.О. Шебанова, В.В. Турупалов // Науковий журнал "Проблеми телекомунікацій". – 2010. – № 2 (2). – С. 23-32. – Режим доступу до журн.: [http://pt.journal.kh.ua/2010/2/2/102\\_shebanova\\_analysis.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2010/2/2/102_shebanova_analysis.pdf).

2. Прядко Л.О. Анализ вимог до надійності телекомунікаційної системи / Л.О. Прядко, О.О. Шебанов, В.В. Турупалов // Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету серія "Обчислювальна техніка та автоматизація-2009."– Донецьк, 2009 р. – Випуск 17 (148). –С. 37-42.

3. Надежность технических систем: [справочник] / [Беляев Ю.К., Богатырев В.А., Болотин В.В. и др.]; под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 464 с.

УДК.621.316.722.1

**Зайцев Г. Ф., д.т.н.; Лысенко Д. А.;Булгач Т. В.;Градобоева Н. В.,к.т.н.**

*(Государственный университет информационно-коммуникационных технологий)*

### **КОМБИНИРОВАННЫЙ АНАЛОГОВЫЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ С АСТАТИЗМОМ ВТОРОГО ПОРЯДКА.ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ, ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМЫ СТАБИЛИЗАТОРА**

**Зайцев Г. Ф., Лысенко Д. О., Булгач Т. В., Градобоева Н. В. Комбінований аналоговий стабілізатор напруги з астатизмом другого порядку. Функціональна, принципова схеми стабілізатора.**Для підвищення динамічної точності стабілізатора, зокрема, для усунення напруг неузгодженості при лінійній зміні збурюючих впливів та обмеженні їх значень при квадратичному законі зміни збурюючих впливів необхідно збільшити порядок астатизму стабілізатора. Пропонується для підвищення порядку астатизма з першого до другого введення розімкненого зв'язку по збурюючому впливу – відхиленню вхідної напруги від номінального значення, тобто побудова комбінованого стабілізатора.

**Ключові слова:**СТАБІЛІЗАТОР НАПРУГИ, АСТАТИЗМ, ПЕРЕДАТНЯ ФУНКЦІЯ, ДИНАМІЧНА ТОЧНІСТЬ, ЗБУЮЧИЙ ВПЛИВ

**Зайцев Г. Ф., Лысенко Д. А., Булгач Т. В., Градобоева Н. В. Комбинированный аналоговый стабилизатор напряжения с астатизмом второго порядка. Функциональная, принципиальная схемы стабилизатора.** Для повышения динамической точности стабилизатора, в частности, для устранения напряжений рассогласования при линейном изменении возмущающих воздействий и ограничении их значений при квадратичном законе изменения возмущающих воздействий необходимо повысить порядок астатизма стабилизатора. Предлагается для повышения порядка астатизма с первого до второго введение разомкнутой связи по возмущающему воздействию– отклонению входного напряжения от номинального значения т.е. построение комбинированного стабилизатора.

**Ключевые слова:** СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ, АСТАТИЗМ, ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ, ДИНАМИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ, ВОЗМУЩАЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ.

**Zaitsev H. F., Lysenko D. O., Bulgach T. V., Hradoboyeva N. V. Combining analogue voltage stabilizer with an astatism of the second order. The functional and principal schemes of stabilizer.** To improve the accuracy of dynamic stabilizer, in particular, to eliminate the error of the linear voltage change of disturbances and limiting their values under quadratic law changes disturbances it is necessary to increase the order of stabilizer astatism. It is proposed to increase of order of astatism from the first to the second using an open connection to the perturbing effects - change in input voltage from the nominal value i.e. building a combined stabilizer.

**Keywords:** VOLTAGE STABILIZER, ASTATISM, TRANSFER FUNCTIONS,DYNAMIC CHARACTERISTICS,

Как отмечалось в работе [1], повышения динамической точности стабилизатора можно добиться, если традиционный статический стабилизатор напряжения (порядок астатизма  $\nu=0$ ) [2,3] преобразить в астатический с астатизмом первого порядка ( $\nu=1$ ). Такое преобразование возможно в результате включения в замкнутый контур стабилизатора интегрирующего элемента[1]. Благодаря повышению порядка астатизма с нулевого до первогоустраняются напряжения рассогласования при изменении по ступенчатым законам возмущающих воздействий – отклонений входного напряжения и сопротивления нагрузки, а