УДК 004.7(045)

Гордієнко С.Б., к.т.н. *(Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ЩОДО ОЦІНКИ СТУПЕНЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЮ МЕРЕЖЕЮ

Гордієнко С. Б. Дослідження та застосування теорії відновлення щодо оцінки ступеню ефективності відновлення параметрів системи управління інфокомунікаційною мережею. З огляду на важливість питань, направлених на удосконалення методів визначення параметрів системи управління інфокомунікаційною мережею в процесі їх відновлення, проведено дослідження та аналіз теорії відновлення. Метою дослідження є встановлення найбільш значимих параметрів процесу відновлення, які показово відтворюють наявність підвищення ефективності параметрів управління інфокомунікаційною мережею.

Ключові слова: ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА МЕРЕЖА, ВІДНОВЛЕННЯ, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ

Гордиенко С. Б. Исследование и применение теории восстановления относительно оценки степени эффективности восстановления параметров системы управления инфокоммуникационной сетью. Учитывая важность вопросов, направленных на усовершенствование методов определения параметров системы управления инфокоммуникационной сетью в процессе их восстановления, проведено исследование и анализ теории восстановления. Целью исследования является установление наиболее значимых параметров процесса восстановления, которые показательно воссоздают наличие повышения эффективности параметров управления инфокоммуникационной сетью.

Ключевые слова: ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Hordiyenko S.B. Research and application of theory of renewal in relation to the estimation of degree of efficiency of proceeding in the parameters of control system by an of telecommunication network. Taking into account importance of the questions sent to the improvement of methods of determination of parameters of control system by an of telecommunication network in the process of their renewal, a study and analysis of renewal theory are undertaken. A research aim is establishment of the most meaningful parameters of process renewals that recreate the presence of increase of efficiency of parameters of management an of telecommunication network model.

***Keywords**:* TELECOMMUNICATION NETWORK, THEORY RENEWAL, CONTROL SYSTEM

Процес відновлення фізично інтерпретується як процес послідовних замін елементів системи управління (ЕСУ), що відмовляють за час *t*.

Допустимо, що є сукупність ЕСУ і що тривалість безвідмовної роботи є безперервною випадковою величиною з щільністю розподілу (щ.р.) *f(x)*. Нехай далі процес відновлення розпочинається з нового елементу системи управління в нульовий момент часу. Цей ЕСУ відмовить, скажімо, у момент часу X_1. Допустимо, що він буде негайно замінений новим елементом з тривалістю безвідмовної роботи, скажемо, X_2. Тоді друга відмова станеться після закінчення часу $X_1 + X_2$. Нехай цей процес продовжується, причому в моменти відмов елементи негайно замінюються новими. Тривалість безвідмовної роботи *r*-го елементу, який використовується, рівна X_r, а сама *r*-а відмова станеться у момент часу S_r, де:

$$S_r = X_1 + X_2 + \cdots + X_r \tag{1}$$

Якщо $\{X_{1,} X_{2,\ldots}\}$ є незалежними, однаково розподіленими випадковими величинами з однією і тією ж щ.р. *f(x)*, то ми назвемо відповідну систему випадкових величин простим процесом відновлення.

Існують два інших процеси відновлення, які майже не відрізняються від простого процесу відновлення. Це загальний та стаціонарний процеси відновлення. По-перше, припустимо, що відмови відбуваються в моменти часу: $X_{1,}\ X_1 + X_2, X_1 + X_2 + X_{3,\ldots}$. Де $\{X_{1,}\ X_{2,\ldots}\}$ є незалежними ненегативними безперервними випадковими величинами. Нехай X_1 має щ. р. $f_1(x)$, а $X_2, X_{3,\ldots}$ усі мають одну і ту ж щ. р. *f(x)*. Таким чином, усі умови для простого процесу відновлення виконані, за винятком того, що тривалість від початку до першої відмови має розподіл відмінний від розподілу для всієї іншої тривалості безвідмовної роботи. Ми назвемо такий процес *загальним процесом відновлення.*

Іншою новою моделлю є спеціальний випадок загального процесу відновлення. Якщо *t* велике, то прямий час повернення V_t для простого процесу відновлення має щ. р. $F(x)/\mu$, де

F(x) – функція надійності, а μ – середній час безвідмовної роботи. Загальний процес відновлення, для якого X_1 має щ.р. *F(x)/μ* , називається стаціонарним процесом відновлення.

Фізична інтерпретація полягає в наступному. Допустимо, що простий процес відновлення починається у віддаленому минулому *(*$t \to -\infty$*)*. Якщо спостереження процесу починається у момент *t=0*, тривалість до першої відмови матиме щ. р. *F(x)/μ*. Таким чином стаціонарний процес відновлення можна розглядати як простий процес відновлення, для якого система почала функціонувати задовго до того, як вона вперше спостерігалася.

З метою предметного застосування процесу відновлення проведено аналіз основних величин, пов'язаних з процесом відновлення:

Тривалість до r -го відновлення. Для деякого фіксованого значення *r* ми можемо знати час *t*, коли станеться *r*-е відновлення. Цей час в точності співпадає з випадковою величиною S_r, визначеною рівністю (1). Проте зручно вже тут розглянути величину S_r – тривалість до настання r-го відновлення, яке визначається для простого загального і стаціонарного процесів відновлення рівністю (1). Отже, якщо $k_r(x)$ є щільністю, а $K_r(x)$ – функцією розподілу величини S_r, то

$$k_r^*(s) = f_1^*(s)\{f^*(s)\}^{r-1} \tag{2}$$

Для простого процесу відновлення $f_1^*(s) = f^*(s)$, так що

$$k_r^{(n)^*}(s) = \{f^*(s)\}^r \tag{3}$$

Відповідна формула для стаціонарного процесу відновлення має вигляд:

$$k_r^{(c)^*}(s) = \frac{\{1-f^*(s)\}}{\mu_s}\{f^*(s)\}^{r-1} \tag{4}$$

Далі, зворотнім до співвідношення (3) є

$$k_r^{(n)}(x) = f_r(x), \tag{5}$$

де $f_r(x)$ є кратною згорткою функції $f(x)$.

Число відновлень за час t. Фіксуємо час *t* і визначимо випадкову величину N_t , як число відновлень, що сталися в інтервалі *(0, t)* Відзначимо, що момент *t=0* початку роботи нового елементу не вважається відновленням. Випадкова величина N_t часто є найбільш важливою характеристикой процесу. Взагалі можна фіксувати два моменти часу t_1, t_2 ($t_1 < t_2$) і визначити

$$N_{t_1,t_2} = N_{t_2} - N_{t_1} \tag{6}$$

як число відновлень в інтервалі (t_1, t_2). Ми побачимо, що формально властивості випадкової величини N_{t_1,t_2} можна отримати в основному таким же шляхом, як і властивості величини N_t. Щоб вивчити N_t – число відновлень в інтервалі $(0, t)$, найпростіше скористатися співвідношенням між N_t і випадковою величиною S_r (тривалістю до *r*-го відновлення). Дійсно, із визначень величин N_t і S_r ясно, що

$$N_t < r \text{ тоді і тільки тоді, коли } S_r > t. \tag{7}$$

Таким чином, $$\mathbf{P}\{N_t < r\} = \mathbf{P}\{S_r > t\} = 1 - K_r\,(t) \tag{8}$$

де, $K_r\,(x)$ – функція розподілу випадкової величини S_r.

Отже, $$\mathbf{P}\{N_t = r\} = K_r\,(t) - K_{r+1}\,(t) \tag{9}$$

причому $K_0\,(t) \equiv 1$. Таким чином, розподіл імовірності числа відновлень N_t може бути явно виражений для всіх r. Зокрема, рівність (9) дуже зручна для чисельного розрахунку розподілу ймрвірності N_t при малих значеннях *r* .

Асимптотичний розподіл числа відновлень N_t . Прості загальні результати про граничний розподіл числа відновлень N_t при $t \to \infty$ можна отримати безпосередньо із формули (7), яка зв'язує випадкові величини N_t і S_r. Міркування можуть бути застосовані в рівній мірі до простого, загального і стаціонарного процесу відновлення. При цьому допускається тільки, що дисперсія розподілу тривалості безвідмовної роботи кінечна.

Запишемо: $$r_t = \frac{t}{\mu} + y_t\,\sigma\sqrt{t/_{\mu^3}}$$

Тоді $$\mathbf{P}\{N_t < r_t\} = \mathbf{P}\{S_{rt} > t\} = \mathbf{P}\left\{\frac{S_{rt} - r_t\mu}{\sigma\sqrt{r_t}} > y_t\left(1 + \frac{y_t\,\sigma}{\sqrt{t\mu}}\right)^{-1/2}\right\} \quad (10)$$

Фіксуємо тепер $y_t = y$ і допустимо $t \to \infty$. Тоді, відповідно асимптотичній нормальності величини S_r і формули (10) отримаємо, що

$$\lim_{t\to\infty} \mathbf{P}\{N_t < r_t\} = \lim_{t\to\infty} \mathbf{P}\left\{\frac{S_r - r_t\mu}{\sigma\sqrt{r_t}} > -y\right\} = G(y) \quad (11)$$

Таким чином, показано, що число відновлень N_t має асимптотично нормальний розподіл з дисперсією ${\sigma^2 t}/{\mu^3}$. Простим випадком є випадок пуассонівського процесу з інтенсивністю ρ, для якого $\sigma = \mu = {1}/{\rho}$. Середнє і дисперсія граничного нормального розподілу рівні ρt. Це звичайна гранична, нормальна форма пуассонівського розподілу. Тут виявляється, що точні і асимптотичні значення середнього і дисперсії рівні.

З виду асимптотичного значення середнього і дисперсії виходить, що для граничного розподілу справедливе співвідношення

$$\frac{\text{Дисперсія}}{\text{Среднє}} \sim \frac{\sigma^2 t}{\mu^3}\,\frac{\mu}{t} = \frac{\sigma^2}{\mu^2}\,. \quad (12)$$

Це є узагальненням на довільний процес відновлення хорошо відомої властивості пуассонівського розподілу, для якого відношення

$$\frac{\text{Дисперсія}}{\text{Среднє}} = 1. \quad (13)$$

Звичайно, (12) є тільки граничним результатом, тоді як (13) – точна рівність.

Щоб користуватися граничним результатом (11) при чисельних розрахунках необхідно знати, як велике має бути значення *t,* при якому нормальне наближення буде хорошим. Рекомендації можна отримати шляхом дослідження окремих випадків, в яких обчислюється точний розподіл числа відновлень N_t.

Функція відновлення. Інколи нас буде особливо цікавити середнє значення випадкової величини N_t.

Функція: $H(t) = \mathbf{M}N_t$, де **M** – математичне очікування, (14)

називається функцією відновлення.

Відзначимо, що для більш загальної випадкової величини N_{t_1,t_2}, згідно (6) маємо:

$$\mathbf{M}N_{t_1,t_2} = H(t_2) - H(t_1) \quad (15)$$

Розглянувши середнє значення величини N_t – числа відновлень за интервал часу $(0, t)$, функція відновленння *H(t)*, яка визначається як $\mathbf{M}N_t$, задається рівністю

$$H(t) = \sum_{r=0}^{\infty} r\mathbf{P}\{N_t = r\} = \sum_{r=0}^{\infty} r[K_r(t) - K_{r+1}(t)] = \sum_{r=0}^{\infty} K_r(t) \quad (16)$$

де $K_r(t)$ – функція розподілу відновлень за час *t*

Щільність відновлення. Для любого моменту часу *t* розглянемо функцію *h(t)*, яка визначається виразом

$$h(t) = \lim_{\Delta t\to 0+} \frac{\mathbf{M}N_{t,t+\Delta t}}{\Delta t} = H'(t) \quad (17)$$

Ця функція називається щільністю відновлення і вказує на середнє число відновлень, які очікуються в малому інтервалі часу поблизу *t.* Так як випадкові величини $\{X_r\}$ безперервні і концентрація ймовірності часу безвідмовної роботи в нулі відсутня, то ймовірність настання більш ніж одної відмови в інтервалі часу Δt рівняється 0 (Δt^2). Звідси витікає, що

$$h(t) = \lim_{\Delta t\to 0+} \frac{P\left\{\begin{array}{c}\text{в інтервалі } (t, t+\Delta t) \text{ відбудеться} \\ \text{одна або більше відмов}\end{array}\right\}}{\Delta t} \quad (18)$$

Фізична інтерпретація щільності відновлення $h(t)$ полягає в тому, що величина $h(t)\Delta t$ асимптотично рівна імовірності відновлення в інтервалі $(t, t + \Delta t)$.

За проведеним аналізом параметрів відновлення та процесів відновлення, які були досліджені вище, стосовно їх застосування для визначення критеріїв ефективності відновлення параметрів управління інфокомунікаційними мережами, питання доцільності застосування процесу відновлення визначається в залежності від конкретної ситуації.

При цьому, з урахуванням стрімко зростаючого попиту на якість та швидкодію надання послуг, при функціонування сучасних мереж нового покоління (NGN) та мереж майбутнього (FN) найбільш прийнятними до застосування, як характеризуючі параметри ефективного процесу відновлення системи управління мережами будуть такі як:

Тривалість до r -го відновлення. Для деякого фіксованого значення r ми можемо знати час t, коли станеться r-е відновлення. Цей час в точності співпадає з випадковою величиною S_r, визначеною як $S_r = X_1 + X_2 + \cdots + X_r$., де: X – час безвідмовної роботи, $1,2,\ldots r$ – елементи системи управління.

Число відновлень за час t – фіксуємо час t і визначимо випадкову величину N_t , як число відновлень, що сталися в інтервалі $(0, t)$.

Функція відновлення. Функція $H(t) = \mathbf{M}N_t$ називається функцією відновлення, де **M** – математичне очікування.

Щільність відновлення – вказує на середнє число відновлень, які очікуються в малому інтервалі часу поблизу t.

Очевидно, що внаслідок визначення критеріїв ефективності відновлення параметрів управління інфокомунікаційними мережами за допомогою параметрів відновлення матимемо можливість своєчасного реагування на спад функціональних можливостей інфокомунікаційних мереж та ефективно використовувати можливості системи підтримки операційної діяльності операторів зв’язку (OSS) в критичних умовах роботи.

Одним з головних завдань для системи управління такими мережами є визначення міри мінімально необхідної кількості управляючої інформації, яка повинна повністю забезпечити ефективне функціонування системи управління інфокомунікаційної мережі з належною точністю параметрів.

У критичних ситуаціях для системи управління мережами характерно різке зниження ефективності параметрів системи управління внаслідок різних причин, що впливають на ці параметри і, як наслідок, збільшення кількості управляючої інформації. Забезпечення постійної ефективності управління мережею потребує негайного швидкого відновлення параметрів системи управління, що здійснюється за наявності технологічних рішень побудови, функціонування та експлуатації інфокомунікаційної мережі.

Так як завдання полягає в оцінці ступеню ефективності відновлення параметрів системи управління інфокомунікаційною мережею в критичному режимі за проміжок часу t з метою забезпечення оперативного реагування на можливе зниження ефективності функціонування мережі, то кількість управляючої інформації, її критичний обсяг в зазначений (поточний) момент часу є критерієм прийняття рішення про оперативне реагування служб експлуатації на ефективне функціонування мережі.

Література

1. Казаков И. Е. Статистическая динамика нелинейных автоматических систем / И.Е. Казаков И. Е., Б.Г. Доступов. . М.: Физматгиз, 1962. – 325 с.

2. Гончаров В. Л. Теория вероятностей / В.Л. Гончаров. – М.: Оборонгиз, 1969. – 460с.

3. Лившиц И. А. Вероятностный анализ систем автоматического управления, т. 1, 2 / И. А. Лившиц, В.П. Пугачев. – М.: Советское радио, 1963. – 280 с.

4. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Оценка параметров системы управления интеллектуальной сети / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман // К.: Праці наук.-практ. конф.: "Стратегія входження України у світовий інформаційний простір", Київ, 1997. – С. 82-84.