УДК 004.7.052:004.414.2
І. І. БОРИСЕНКО, канд. техн. наук, доцент;
Н. В. РУДЕНКО, здобувач;
Державний університет телекомунікацій, Київ

МАРКОВСЬКА МОДЕЛЬ БЕЗПЕКИ ДЛЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЮ МЕРЕЖЕЮ

Досліджено використання марковських процесів для створення моделей систем управління телекомунікаційними мережами. Функціонування системи управління в часі розглянуто як процес зміни її станів: множина X можливих несумісних станів системи x, які виступають як апріорні дані, а також випадковий процес $\xi(t)$, який набирає в кожний момент часу $t = t_1$ одного з можливих станів $x \in X$. Проаналізовано та надано докладні описи: отримано аналітичні формули для ймовірностей, що виникли в системі управління, в обчислювальний момент часу. Також окремо встановлено залежність імовірності безпечного стану.
Ключові слова: марковські процеси; телекомунікаційні мережі; системи управління; інформаційні технології.

Вступ

Розвиток сучасних інформаційних технологій характеризується впровадженням систем управління телекомунікаційними мережами для виконання завдань нагромадження, оброблення, зберігання, передавання інформації та проведення контролю.

Під об’єктом управління розуміємо телекомунікаційну мережу, а суб’єктом є система управління цією мережею. За інформаційною сутністю процес управління можна формалізувати у вигляді замкненого циклу послідовного звернення до трьох операторів: ідентифікації об’єкта керування, прийняття рішень щодо характеру і величини керуючих дій, що забезпечують досягнення поставленої мети та здійснення керуючих дій (рис. 1)

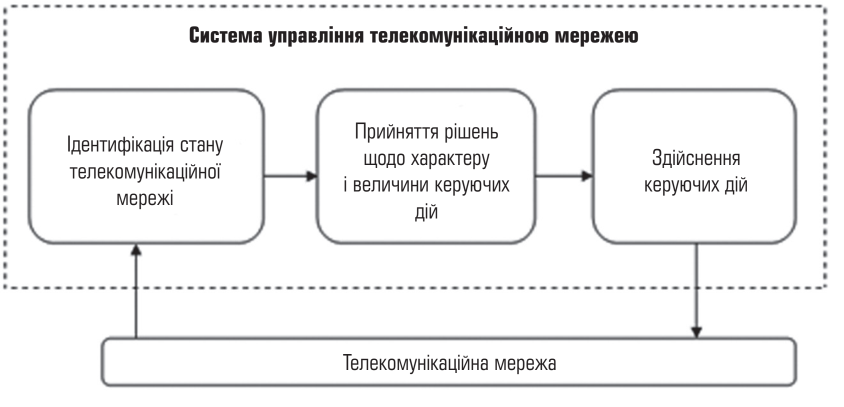

Рис. 1. Інформаційна структура циклу керування в системі управління телекомунікаційною мережею

Телекомунікаційні мережі є основою з погляду оцінювання та забезпечення надійності та безпеки, частиною системи управління. Забезпечення надійності та безпеки системи управління зумовлено низкою факторів, передусім телекомунікаційна мережа є розподіленою багатокомпонентною системою, для якої складно сформулювати поняття відмови. Системи управління телекомунікаційною мережею можуть бути віднесені до систем із багаторівневою роботоздатністю, яка містить великий набір штатних засобів контролю, діагностування та відновлення роботоздатності, що функціонують автоматично або під керуванням. Телекомунікаційна мережа є об'єктом різних випадкових і цілеспрямованих впливів, що можуть спричинювати короткочасну або тривалу втрату роботоздатності: відмови (збої) відбуваються через відмови (збої) програмних, апаратних або мережних компонентів. Внаслідок зазначених причин досить складним є оцінювання надійності системи управління телекомунікаційною мережею через велику різноманітність діючих факторів.

Для забезпечення оперативного доступу до інформаційного середовища особливо актуально за умов настання надзвичайної ситуації, коли наявна інфраструктура втрачає або частково втрачає можливість нормально функціонувати, постає питання впровадження моделі безпеки системи управління.

У теорії складних технічних систем широко застосовуються методи аналізу надійності систем, здатних до самовідновлення. Системи управління телекомунікаційних мереж належать саме до таких систем.

Особливе місце при дослідженні систем управління телекомунікаційними мережами посідає використання марковських процесів.

Основна частина

У марковських процесах передбачається недосконалість процедури контролю та підімкнення резерву, а також заходи щодо відновлення збоїв елементів, враховані за допомогою спеціального параметра моделі, що являє собою умовну ймовірність. У моделі можливі три умови переходу підсистеми у відмову — вичерпання її ресурсів; виникнення несправності робочих елементів; підімкнення несправного резерву, замість відмов робочого елемента.

Вихідним поняттям марковського процесу є множина X можливих несумісних станів системи x, які виступають як апріорні дані щодо функціонування системи, а також випадковий процес $\xi(t)$ функціонування системи, яка набирає в кожний момент часу $t = t_1$ одного з можливих станів $x \in X$. Сукупність станів подій $\{\xi(t_1 = x)\} = \omega_x^i$ утворює простір $\Omega = \omega_x^i$, де події ω_x^i несумісні.

Візьмемо, наприклад, системи з n елементів, кожний з яких можна описати подіями роботоздатності ε_k або нероботоздатності $\varepsilon_k (k = \overline{1,n})$. Тоді подія ω_x^i системи визначається як сукупність n подій так, що кожній сукупності належить тільки подія ε_k або йому протилежне $\overline{\varepsilon_k}$. Число h подій ω_x^i дорівнює числу x станів системи з n елементів. Для такої системи, коли кожний елемент визначається двома станами, число станів $h = 2^n$.

Щоб відшукати кожну пару подій ε_k і $\overline{\varepsilon_k}$, необхідно задати область роботоздатності та область нероботоздатності для кожного k-го елемента. Якщо всі вхідні параметри k-го елемента розміщено в області роботоздатності, то настає подія ε_k. У разі, коли хоча б один із вихідних параметрів k-го елемента міститься поза області роботоздатності, настає подія $\overline{\varepsilon_k}$.

Уся сукупність подій ω_x^i підлягає диференційованому аналізу, у результаті чого простір Ω поділяється на дві непересічні підмножини A та B, для яких $(A + B) = \Omega$ та $AB = \varnothing$. До підмножини A належать ті події ω_x^i, в яких система зберігає роботоздатність. Решта подій ω_x^i, для яких система перебуває в нероботоздатному стані, належить підмножині $B = \Omega - A$. З огляду на те, що між елементами множини станів X та елементами ω_x^i простору Ω існує взаємно однозначна відповідність, справедливі рівності $X = A_x + B_x$, де A_x — підмножина індексів x подій $\omega_x^i \in A_x$, $B_x = X - A_x$, а добуток підмножин $A_x\, B_x = \varnothing$.

Функціонування системи управління в часі розглядається як процес зміни її станів. Наприклад, для двох моментів часу $t = t_i$ і $t = t_j$, якщо $t_i < t_j$ функціонування системи управління в двох станах $x = r,l$ можна описати сукупністю подій

$$\begin{gathered}
\omega_r^i = \{\xi(t_i) = r\}, \quad \omega_r^j = \{\xi(t_j) = r\}, \\
\omega_r^i = \{\xi(t_i) = r\}, \quad \omega_l^j = \{\xi(t_l) = l\}, \\
\omega_l^j = \{\xi(t_j) = l\}, \quad \omega_l^j = \{\xi(t_j) = l\}, \\
\omega_l^j = \{\xi(t_i) = l\}, \quad \omega_r^j = \{\xi(t_j) = r\},
\end{gathered} \tag{1}$$

або сукупністю абсолютних (безумовних) імовірностей

$$P_r(t_i) = P(\omega_r^i), \quad P_r(t_j) = P(\omega_r^j), \quad P_l(t_i) = P(\omega_l^i), \quad P_l(t_j) = P(\omega_r^i) \tag{2}$$

і перехідних (умовних) імовірностей

$$\pi_{rl}(t_i,t_j) = P(\omega_l^j/\omega_r^i), \quad \pi_{lr}(t_i,t_j) = P(\omega_r^j/\omega_l^i). \tag{3}$$

Модель системи управління зі станами r, коли події ω_r^i і ω_l^i утворюють повну групу, можна подати системою рівностей подій

$$\omega_r^j = \omega_r^i\, \omega_r^j + \omega_l^i\, \omega_r^j, \quad \omega_l^j = \omega_1^i\, \omega_l^j + \omega_l^i\, \omega_l^j\,, \tag{4}$$

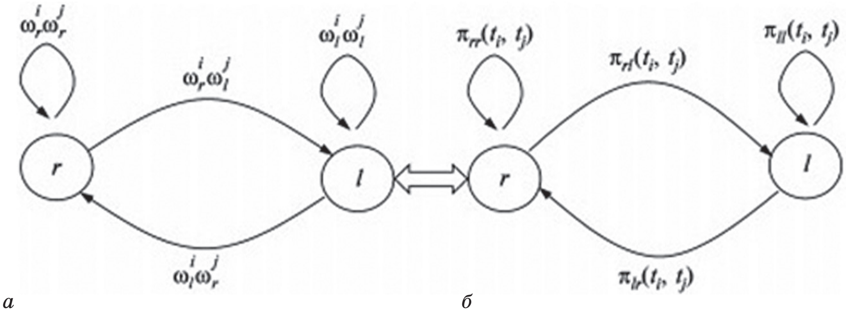

Рис. 2. Граф системи в двох станах: *а* — із позначенням подій переходу; *б* — із позначеннями ймовірностей переходу

або, як це зазвичай прийнято, еквівалентною системою рівностей імовірностей

$$P_r(t_j) = \pi_{rr}(t_i,t_j)\, P_r(t_i) + \pi_{lr}(t_i,t_j) P_l(t_i),$$
$$P_l(t_j) = \pi_{rl}(t_i,t_j)\, P_r(t_i) + \pi_{ll}(t_i,t_j) P_l(t_i). \quad (5)$$

Системам рівностей (3) і (4) відповідає граф переходу об'єкта зі стану $r(l)$ у стан $l(r)$ (рис. 2).

У загальному випадку об'єкт має k станів, і його можна описати системою рівностей подій

$$\omega_r^j = \omega_1^i\, \omega_r^j + \omega_2^i\, \omega_r^j + \ldots + \omega_r^i\, \omega_r^j + \ldots + \omega_k^i\, \omega_r^j, \quad r = (\overline{1,k}). \quad (6)$$

Відповідна система рівностей імовірностей має такий вигляд:

$$P_r(t_i) = \pi_{1r}(t_i,t_j) P_1(t_i) + \pi_{2r}(t_i,t_j) P_2(t_i) + \ldots + \pi_{rr}(t_i,t_j) P_r(t_i) + \ldots + \pi_{kr}(t_i,t_j) P_k(t_i), \quad r = (\overline{1,k}). \quad (7)$$

Щоб здійснити аналіз надійності СУ з урахуванням систем попередження та ослаблення аварії, потрібно мати можливість аналізувати СУ як об'єкт із урахуванням його структури. Необхідно диференційовано враховувати роль кожного елемента в структурі забезпечення надійності, а також спільно аналізувати поступові та ймовірнісні відмови. В основі методу теорії надійності для вирішення цього завдання розглянемо положення теорії марковських процесів для управління безпекою ТМ. Це управління здійснюється системами відновлення і захисту. Теоретично будемо розглядати ці системи як можливість для переходу СУ з передаварийного стану l у безаварійний стан r (див. рис. 2). У початковий момент аналізу t_i СУ може перебувати в одному з двох $\{r,l\}$ станів. Припустимо також, що СУ є відновлюваної системою, тобто може перейти з аварійного стану l у безаварійний стан r за рахунок системи управління та захисту.

Через обмежену надійність та безпеку СУ апріорні ймовірності $P_r(t_i)$ і $P_l(t_i)$ задовольняють умови

$$0 < P_r(t_i) < 1 \quad \text{і} \quad 0 < P_l(t_i) < 1, \quad P_l(t_i) + P_r(t_i) = 1. \quad (8)$$

Нерівності мають такий зміст. Випадок, коли апріорна ймовірність $P_r(t_i) = 1$, неприйнятний через неабсолютність надійності та безпеки СУ. Він не має і теоретичного значення, оскільки, коли $P_x(t_i) = 1$, не можна оцінити ефективність відновлення та захисту як процедури управління шляхом перетворення СУ з передаварійного стану в безаварійний. Тому ймовірності $P_r(t_i)$ і $P_l(t_i)$ менші за одиницю, але не дорівнюють нулю.

З огляду на те, що основою концепції забезпечення безпеки є мережа, розглянемо її реалізацію з позицій теорії відновлення. Візьмемо ідеальний випадок, коли процедура відновлення безпечного стану абсолютно надійна. Відповідно, імовірність $\pi_{lr}(t_i,t_j)$ переходу з предаварійного стану l у безпечний стан r дорівнює одиниці: $\pi_{lr}(t_i,t_j) = 1$. Тоді ймовірність ТМ залишитися в передаварійному стані $\pi_{lr}(t_i,t_j) = 0$.

При використанні теорії марковських процесів для аналізу безпеки СУ розглядається вся множина її станів $M = M_1 \cup M_2$. Множина M_1 включає в себе несумісні стани $i \in M_1$: неаварійні, роботоздатний стан СУ та всі стани, в яких СУ у безпеці та для яких можливе відновлення переходу від відмови в роботоздатний стан. Множина M_2 містить у собі несумісні стани $j \in M_2$: усі стани, в яких можлива аварія СУ і для яких неможливо відновлення роботоздатності СУ.

Нехай із кожним роботоздатним станом $i \in M_1$ пов'язана несумісна подія ω_i, а їх сума

$$S_i = \bigcup_{i \in M_1} \omega_i. \quad (9)$$

Нехай із кожним неработоздатним станом $j \in M_2$ пов'язана несумісна подія $\overline{\omega_j}$, а їх сума

$$S_2 = \bigcup_{i \in M_2} \overline{\omega_j}. \quad (10)$$

Події S_1 і S_2 утворюють повну групу несумісних подій:

$$S_1 + S_2 = l, \vee\, S_1 \bigcup S_2 = \varnothing. \quad (11)$$

Вважатимемо, що початкова подія $\overline{\varepsilon_A}$ ініціює можливу аварію, подія якої $\overline{\varepsilon_\Pi}$. За умовою подія аварії $\overline{\varepsilon_\Pi}$ може настати, якщо будуть виконані дві умови:

1) відбудеться вихідна подія $\overline{\varepsilon_A}$;

2) СУ опиниться в одному з неработоздатному стані $j \in M_2$.

Тоді справедливі такі рівності:

$$\overline{\varepsilon_\Pi} = \overline{\varepsilon_A} S_2 = \varnothing \vee \overline{\varepsilon_\Pi} S_1 = \varnothing. \quad (12)$$

Якщо ці умови виконуються, то подальший аналіз повторює хід перетворень, проведених раніше, згідно з виразами:

$$P\left(\overline{\varepsilon_\Pi}\right) = P\left(\overline{\varepsilon_A}\right). \quad (13)$$

Рівність (13) справедлива лише тоді, коли виконуються умови (12). Ці умови випливають із поділу всієї множини всіх станів M, в яких може перебувати СУ, на непересічні підмножини неаварійних станів M_1 і аварійних станів M_2.

Висновок

У статті обґрунтовано коректність використання марковських процесів для побудови безпеки системи управління як системи з відмовами і відновленнями характеристик безпеки, а також із фатальною відмовою, що дозволяють визначати найважливіші характеристики загрози безпеки інформаційної системи при проектуванні системи захисту інформації. Подальші дослідження можуть бути спрямовано на розроблення конкретних моделей із метою вибору параметрів стратегій обслуговування і забезпечення необхідного рівня безпеки.

Список використаної літератури

*1. **Анфилатов В. С., Емельянов А. А., Кукушкин А. А.** Системный анализ в управлении: учеб. пособие / под ред. А. А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с:*

*2. **Толубко В. Б., Беркман Л. Н.** Методи оптимізації: підручник для студентів вищих навч. закладів за напрямком «Телекомунікації». ДУТ, 2016. 442 с.*

*3. **Удосконалення** процесів управління телекомунікаційними мережами за стандартом Telecommunications Management Network / Л. Н. Беркман, Л. П. Крючкова, І. І. Борисенко, С. А. Федюнін // Наук. записки УНДІЗ. 2016. №1(41). С. 5–13.*

Рецензент: доктор техн. наук, професор **С. В. Козелков**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

И. И. Борисенко, Н. В. Руденко

МАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ

Исследовано использование марковских процессов для создания моделей систем управления телекоммуникационными сетями. Функционирование системы управления во времени рассмотрено как процесс изменения ее состояний: множество X возможных несовместимых состояний системы x, которые выступают в качестве априорных данных, а также случайный процесс $\xi(t)$, который принимает в каждый момент времени $t = t_1$ один из возможных состояний $x \in X$. Проведен анализ и представлены подробные описания: получены аналитические формулы для вероятностей, возникших в системе управления, в вычислительный момент времени. Также отдельно исследована зависимость вероятности безопасного состояния.

Ключевые слова: марковские процессы; телекоммуникационные сети; системы управления; информационные технологии.

I. I. Borysenko, N. V. Rudenko

MARKOV MODEL OF SAFETY FOR TELECOMMUNICATION NETWORK MANAGEMENT SYSTEM

This article explores the use of Markov processes to create models of control systems for telecommunication networks. The functioning of the control system in time is considered as a process of changing its states: the set X of possible incompatible states of the system x acting as a priori data, as well as the random process $\xi(t)$, which takes at any time $t = t_1$ one of the possible states $x \in X$. The analysis and described the detailed descriptions: the analytical formulas for the probabilities that arose in the control system at the computational time point were obtained. Also, the dependence of the probability of a safe state is explored separately.

Keywords: Markov processes; telecommunication networks; control systems; information technologies.