

МАТЕМАТИЧНІ ФУНКЦІОНАЛЬНО-СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТІВ КОНТРОЛЮ І УПРАВЛІННЯ

Стаття присвячена розробці математичних функціонально-статистичних моделей об'єктів контролю і управління, здійснюється аналіз диференціальних систем рівнянь, які визначаються за допомогою таких методів: метод диференціальних рівнянь, метод квазілінійних рівнянь, метод Монте-Карло. При розробці математичної функціонально-статистичної моделі враховується те, що мережа як об'єкт управління може складатися з систем всіляких класів і видів. Ці системи можуть бути автономними і неавтономними, замкнутими і розімкненими, стаціонарними і нестаціонарними, неперервними і дискретними. Тому для побудови математичної функціонально статистичній моделі необхідно використовувати досить загальний математичний апарат, який при відповідних змінах може бути поширений на окремі випадки. Крім того, при побудові математичної функціонально-статистичної моделі об'єкту необхідно також мати уяву про основні критерії, за якими виконується оптимізація характеристик процесу контролю і управління. До цих критеріїв перш за все відносяться: час, необхідний для виконання процесу в цілому і його складових; імовірність безвідмовної роботи; імовірність виконання завдання різними мережними елементами, що входять в об'єкт, і об'єктом в цілому; імовірність помилки; затримка передачі інформації, що управляє; коефіцієнт готовності; відсоток втрати пакетів; точність роботи різних складових інформаційної мережі (величина відхилення параметрів від норми); вартість, споживана енергія і інші важливі показники.

Проводиться аналіз та побудова системи рівнянь, яка дозволяє визначити функціональний стан об'єкту, комплекс системи контролю і виконати оцінювання її ефективності. Це дозволить безпосередньо визначити ймовірнісні появи поступових відмов систем об'єкта як у звичайному режимі, так і в умовах виникнення кризової ситуації, тобто максимальних навантажень. Для контролю і управління може бути будь-яке устаткування, а також вся мережа в цілому. Критеріями оптимальної роботи системи управління є її продуктивність і надійність, які визначаються конкретними показниками оцінки (наприклад, часом реакції, коефіцієнтом помилок, вартістю системи тощо). Ці параметри, що прямо або побічно впливають на критерії оптимальності, можуть варіюватися з метою підвищення показників ефективності роботи системи управління.

Ключові слова: процес управління, контроль мережею, математичні функціонально-статистичні моделі, інформаційна модель.

Вступ. На сьогодні в умовах постійного розвитку послуг зв'язку замовників інформаційних мереж спеціального призначення насамперед цікавлять якісні і кількісні показники цих мереж. Для забезпечення високоякісного обслуговування абонентів в умовах впровадження новітніх технологічних рішень у цій галузі і для надання інформаційних послуг має бути створена система управління, яка дасть можливість проводити моніторинг і швидке відновлення мережевих елементів керування, потоку та роботи для підтримки мережевого зв'язку; завчасно віднаходити й усувати несправності та забезпечувати оперативне підключення споживачів нових послуг. Саме від організації управління залежить безпечність та конкурентна спроможність мережі.

Постановка проблеми. Предметом перевірки й управління інформаційної мережі, може бути все оснащення, а також в цілому вся мережа. Візьмемо до уваги важливий момент – мережа визначається складною системою, яка безпосередньо підлягає управлінню, а відповідно складність процесу контролю і управління стає складністю об'єктів. Дослідивши

складність всього процесу контролю і управління, встановлено, що цей процес в основному обумовлюється складністю об'єктів.

Метою статті є розробка математичних функціонально-статистичних моделей об'єктів управління і контролю.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час дослідження для математичного опису системи управління розглянуто функціонально-статистичні моделі, які дозволяють визначити ймовірнісні характеристики інформаційної мережі як об'єкта управління.

Запропонована модель дозволить безпосередньо визначити ймовірнісні появи поступових відмов систем об'єкта як у звичайному режимі, так і в умовах виникнення кризової ситуації, тобто максимальних навантажень. Об'єктом контролю і управління може бути будь-яке устаткування, а також вся мережа в цілому.

Отже, для опису функціонування об'єкта було обрано математичну модель системи разом із об'єктивними та випадковими діями, які управляються сигналами контролю, які впливають на різні випадкові перешкоди – зовнішні збурення, що діють на об'єкт, а також діями, які відбуваються із середини та впливають на різноманітні функціональні блоки системи управління, а це дозволяє отримувати практично важливі результати.

На основі аналізу обраної моделі можна сформулювати основні завдання, що вирішуються автоматичною системою контролю і управління, а також синтезувати оптимальну систему управління мережею, визначаючи міру автоматизації та її ефективність.

Важливою проблемою управління інформаційною мережею в кризових ситуаціях є проблема неможливості оперативного отримання інформації, здійснення безперервного обміну спеціальною інформацією із заданими показниками якості і фактичними можливостями наявної інформаційної мережі, швидкого формування алгоритму дій в ускладнених ситуаціях, які виникатимуть на об'єктах, для запобігання негативним наслідкам різного походження.

Об'єктом контролю являється комплекс складних або простих статичних і динамічних систем, а також елементів.

При контролі і управлінні функціонування об'єкту можна розглядати як багатовимірну динамічну систему, що включає автоматизовані системи управління, як наведено на рис.1.

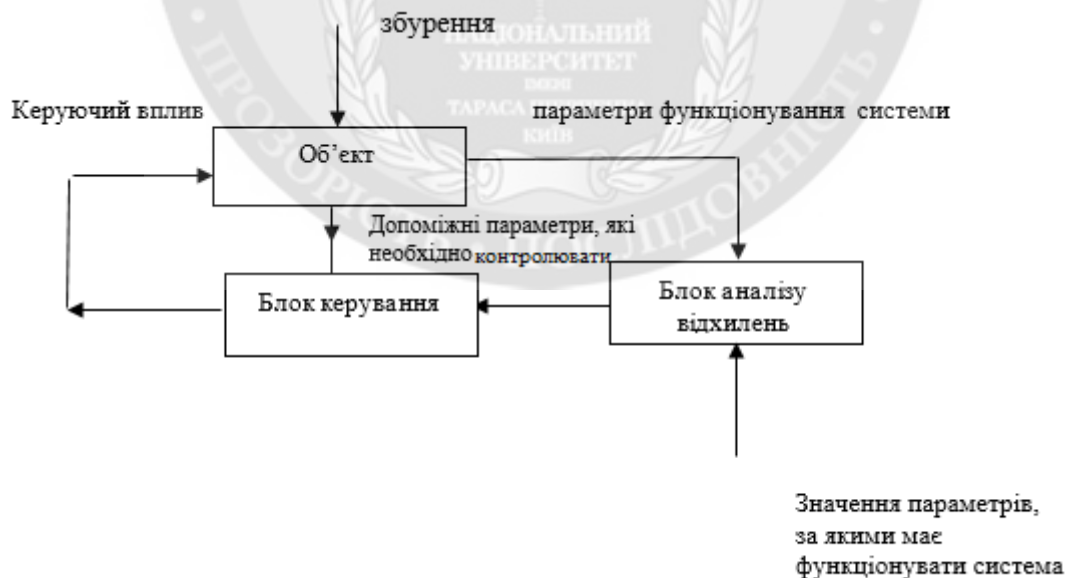


Рисунок 1 – Структурна схема системи управління багатовимірною динамічною системою

Параметри багатовимірного об'єкту, систем і блоків – величини, функціональні залежності або оператори, що є мірою якості об'єкту і характеризують здатність об'єкта виконувати задані функції управління.

Стан об'єкта, який призводить до порушення контролю й управління об'єктом (збурення), можна описати за допомогою системи рівнянь, що є математичною функціональною моделлю [1]:

$$\sum_{p=1}^m M_{lp} \left(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q \right) \cdot X_p = F_l(t, \tau, X, Z) \quad (1)$$

де X – випадкова функція часу, яка характеризує вихідні параметри об'єкта;

Z – випадкова функція часу, яка характеризує зовнішні та внутрішні стани об'єкта й управління дій;

F_l – нелінійна функція часу;

$M_{lp} \left(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q \right)$ – многочлен оператора диференціювання;

t – поточне значення часу;

τ – момент часу.

Дана система рівнянь здатна описувати динамічний стан об'єкта, який керується автоматизованими системами управління.

Збурення, що діє на об'єкт за тим самим каналом, що й регулюючий вплив, називається внутрішнім, або основним. Інші збурення називаються зовнішніми. У межах невеликих відхилень цих величин промислові об'єкти регулювання можуть розглядатися як лінійні системи [2].

Внутрішні збурення розділяються на прямі і непрямі збурення. Прямі збурення – збурення, на які діють канали передачі інформації.

Непрямі збурення – збурення, які впливають на вихідні параметри за умови зміни мережевих параметрів.

Динамічну систему, яка знаходиться під впливом сигналів, а також станів системи, які спричиняють втручання у систему, можна визначити за вихідними параметрами, вектором-оператором динамічної системи, який заданий деякими математичними операціями – $A(t, \tau, X, Z, Q)$ або деякими лінійними і нелінійними диференційними рівняннями (1).

Завдяки різноманітним діям і збуренням вихідними параметрами об'єкта є випадкові функції часу.

У зв'язку з випадковим характером різних дій і збурень вихідні параметри, об'єкту будуть також випадковими функціями часу.

Кожній групі номінальних умов при $t = \tau_0, x_{01}, x_{0m}, \zeta_{01}, \dots, \zeta_{0k}$, номінальної області G_0 відповідає своє номінальне вирішення системи (3.1):

$$x_{0i} = \varphi_{0ij}(\tau_0, \tau, X_0, Z_0). \quad (2)$$

Кожній групі реальних умов в момент часу $t = \tau_1, x_1, x_m, \zeta_1, \dots, \zeta_k$ реальної області G_1 відповідає своє реальне вирішення системи (3.1):

$$x_i = \varphi_{ij}(\tau_1, \tau, X, Z). \quad (3)$$

Систему рівнянь за числом нелінійних операторів і вихідних параметрів представимо у вигляді m окремих рівнянь. Уявимо, що число вихідних параметрів дорівнює числу операторів, проте за деякими ознаками операторів може бути більше. Для v -го параметра (1) пасує рівнянням:

$$M_i(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q)x_i = F_i(t, \tau, x_g, Z). \quad (4)$$

Об'єктам, які реалізують функцію управління маршруту в мережі, яка має комутацію пакетів, число параметрів на виході може дорівнювати або бути більшим, можна записати у вигляді рівняння:

$$M_j(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q_j)x_j = F_j(t, \tau, \frac{d}{dt}, Z_j); \quad (5)$$

$$M_a(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q_a)x_a = F_f(t, \tau, \frac{d}{dt}, Z_a); \quad (6)$$

$$M_h(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q_h)x_h = F_h(t, \tau, \frac{d}{dt}, Z_h). \quad (7)$$

Система рівнянь, за допомогою яких можна описати коефіцієнт передачі мережного елемента:

$$M_v(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q_v)x_v = F_v(t, \tau, \frac{d}{dt}, Z_v); \quad (8)$$

$$M_\psi(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q_\psi)x_\psi = F_\psi(t, \tau, \frac{d}{dt}, Z_\psi); \quad (8)$$

$$M_\phi(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q_\phi)x_\phi = F_\phi(t, \tau, \frac{d}{dt}, Z_\phi). \quad (10)$$

Якщо розглянути функціонування мережевого обладнання, то відхилення від норми є невеликими за зазначеннями і майже не впливають на роботу мережі. Зважаючи на це під час розгляду зазначених рівнянь, які безпосередньо характеризують функціонування мережевого обладнання, амплітудно-частотними характеристиками можна не брати до уваги. Зазвичай таке відхилення каналу компенсується коректором сигналу.

Регульовані параметри можуть бути залежними та незалежними. При функціонуванні мережного елемента, для приладу, якщо розглядати модем, зазвичай вважається, що відхилення параметрів від норми відбуваються з відносно великою частотою, але є невеликими за значенням і мало впливають на працездатність мережі.

Тому при складанні та аналізі рівнянь, що характеризують функціонування мережного елемента АФЧХ каналу можна знехтувати. Крім того, у загальному випадку відхилення АФЧХ каналу компенсується адаптивним коректором або властивістю інваріантності OFDM сигналу.

Таким чином, в деяких окремих випадках можна розглядати рівняння функціонування об'єкта по одному з регульованих вихідних параметрів (наприклад, ймовірності помилки) незалежно від інших параметрів.

При контролі об'єкта системи регулювання окремих параметрів можуть бути розімкненими, і тоді в залежності від обраного критерію оцінки готовності систем аналіз і синтез системи контролю та управління можуть значно спроститися.

Аналіз рівняння обуреного стану об'єкта в процесах контролю та управління дозволяє визначити функціональний стан об'єкта, синтез системи контролю та оцінки її ефективності. Однак більш повною характеристикою статичного і динамічного стану об'єкта є ймовірнісний опис за допомогою законів розподілу ймовірностей значень параметрів і векторів-операторів.

Запропонована модель дозволить безпосередньо визначити ймовірнісні появи поступових відмов систем об'єкта як у звичайному режимі, так і в умовах виникнення кризової ситуації, тобто максимальних навантажень. Об'єктом контролю і управління може бути будь-яке устаткування, а також вся мережа в цілому.

З метою перевірки достовірності теоретичних висновків були проведені експериментальні дослідження системи, результати наведені в табл. 1.

Вихідними даними для розрахунку є відомості про наступні параметри:

1. об'єкт управління та його параметри;
2. відхилення параметрів об'єкту від звичайних значень;
3. кількість та типи кореляційних зв'язків;

У кожному випадку при обранні об'єкту управління та їхніх параметрів, що виходять з потрібної точності розрахунків та потреб СУ.

Розрахунок за розробленою методикою виконаний на прикладі із даними об'єктами управління: цифровим МТС, службами передачі даних з протоколом; службами передачі даних за протоколом IP; установчо-виробничими АТС; лінійними трактами; системами

передачі з частотним розподілом каналів; системами передачі з часовим розподілом каналів; мережними трактами (первинні, вторинні, третинні); лініями передачі.

Дані параметри отриманні із аналізування нормативної та технічної документації для використання мережі.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

№ параметра управління	Кількість інформації		Виграш з пропускної спроможності (час реакції системи = 250 мс)
	без урахування кореляційних зв'язків	з урахуванням кореляційних зв'язків	
1	7275,52	7275,52	
2	8027,29	7224,56	3211
3	7041,56	5633,25	5633
4	8258,10	5780,67	9910
5	7767,20	4660,32	12428
6	7881,99	3940,99	15764
7	7519,31	7519,31	
8	7232,99	6509,69	2893
9	6539,39	5231,51	5232
10	7931,05	5551,73	9517
11	7625,93	4575,56	12201
12	6931,12	3465,56	13862
13	7389,62	7389,62	
14	7968,35	7171,52	3187
15	7232,99	5786,39	5786
16	7232,99	5063,09	8680
17	7232,99	4339,79	11573
18	7232,99	3616,49	14466
19	7238,42	7238,42	
20	7310,67	6579,61	2924
21	7425,36	5940,29	5940

Практична цінність забезпечується можливістю врахування ємності управляючої інформації з переліком вимог до точності параметрів основної мережі. Така оцінка визначається дисперсією відхилення від математичного очікування. Чим більші вимоги до точності параметрів управляючої мережі, тим більша потрібна ємність управляючої інформації.

Висновки. Виходячи з аналізу, можна дійти висновку, що для побудови математичної функціонально-статистичної моделі необхідно використовувати досить загальний математичний апарат, який за умови відповідних змін може бути поширений на окремі випадки. Крім того, для побудови математичної функціонально-статистичної моделі об'єкту необхідно також мати уявлення про основні критерії, за якими виконується оптимізація характеристик процесу контролю і управління, серед яких є наступні [3]:

- час, потрібний для виконання загального процесу та його складових;
- ймовірність безвідмовної роботи;
- ймовірність виконання завдання різними мережевими обладнанням, яке входять в об'єкт;
- ймовірність помилки;
- затримка передачі інформації щодо управління;

- коефіцієнт готовності;
- відсоток втрати пакетів; точність роботи різних складових інформаційної мережі (величина відхилення параметрів від норми);
- вартість тощо.

Аналізуючи рівняння збуреного стану об'єкта в процесах контролю і управління, можна визначити функціональний стан об'єкта, синтез системи контролю і оцінки її ефективності.

Регульовані параметри можуть бути як залежними, так і незалежними. При контролі об'єкту системи регулювання окремих параметрів можуть виявитися розімкненими, і тоді залежно від вибраного критерію оцінки готовності систем аналіз і синтез системи контролю і управління можуть значно спроститися.

Результати можуть бути використані для побудови математичної функціонально-статистичної моделі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Bischof, C. (eds.) *Parallel Computing. Architectures, Algorithms and Applications* / C. Bischof, M. Bücker, P. Gibbon, G.R. Joubert, T. Lippert, B. Mohr, F. Peters. IOS Press, 2008.
2. https://uk.wikipedia.org/wiki/Об'єкт_керування
3. Yamamoto, Y. *Principles and Methods of Quantum Information Technologies* / Y. Yamamoto, K. Semba. Springer Japan, 2016
4. Бідюк О. П. Комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень / О. П. Бідюк, О. П. Гожий, Л. О. Коршевнюк. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2012
5. Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
6. Вишневикий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера, 2003.
7. Зубатенко В. С., Майстренко А. С., Молчанов И. Н. и др. (2006). Исследование некоторых параллельных алгоритмов решения задач линейной алгебры на MIMD-компьютерах. Искусственный интеллект, № 3, 129–138.
8. Моделирование информационных систем / Под ред. О.И. Шелухина. Учебное пособие. М.: Радиотехника, 2005, 368 с.
9. Моніторинг об'єктів в умовах апріорної невизначеності джерел інформації [монографія] / Ю. Я. Бобало, Ю. Г. Даник, Л. О. Комарова, О. О. Лук'янов, В. М. Максимович, О. О. Писарчук, В. В. Ріппенбейн, Р. Т. Смуk, В. С. Стогній, Ю. Б. Сторонський, Б. М. Стрихалюк. Львів, 2015.
10. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2006.
11. Стеклов В.К. Інформаційна система: підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Телекомунікації». К.: Техніка, 2014.
12. Яковлев М. Ф., Нестеренко А. Н., Бруснікін В. М. (2014). Проблемы эффективного розв'язування систем нелінійних рівнянь на багатопроцесорних комп'ютерах MIMD- архітектури. Математичні машини і системи, № 4, 12–17.

REFERENCES:

1. Boev V.D. *Systems modeling. GPSS World tools*. SPb .: BHV-Petersburg, 2004.
2. Bischof, C. (eds.) *Parallel Computing. Architectures, Algorithms and Applications* / C. Bischof, M. Bücker, P. Gibbon, G.R. Joubert, T. Lippert, B. Mohr, F. Peters. IOS Press, 2008.
3. Bidyuk O.P. *Computer systems for decision support* / O.P. Bidyuk, O.P. Gozhiy, L.O. Korshevnyuk. - Mykolaiv: BSTU Publishing House named after Petra Mogili, 2012
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Object_control
5. Vishnevsky V.M. *Theoretical foundations of computer network design*. M .: Technosphere, 2003.
6. Zubatenko V.S., Maistrenko AS, Molchanov IN and others (2006). Investigation of some parallel algorithms for solving linear algebra problems on MIMD computers. *Artificial Intelligence*, № 3, 129–138.
7. *Modeling of information systems* / Ed. O.I. Shelukhina. Textbook. M .: Radiotekhnika, 2005, 368 p.
8. *Monitoring of objects in the conditions of a priori uncertainty of information sources [monograph]* / Yu. Ya. Bobalo, Yu. G. Danyk, L.O. Komarova, O.O. Lukyanov, V.M. Maksimovich, O. O. Pisarchuk, V.V. Rippenbein, R.T. Smuk, V.S. Stogniy, Yu. B. Storonsky, B.M. Strykhalyuk. Lviv, 2015.

9. Olifer V.G., Olifer N.A. Computer networks. Principles, technologies, protocols. SPb .: Pityr, 2006.
10. Steklov V.K. Information system: a textbook for students of higher educational institutions in the field of "Telecommunications". K .: Technology, 2014.
11. Yakovlev M.F., Nesterenko A.N., Brusnikin V.M. (2014). Problems of efficient solution of systems of nonlinear equations on multiprocessor computers of MIMD-architecture. *Mathematical Machines and Systems*, № 4, 12–17.
12. Yamamoto, Y. Principles and Methods of Quantum Information Technologies / Y. Yamamoto, K. Semba. Springer Japan, 2016.

**Trofymchuk V.M., Doctor of Technical Sciences Stepanov M.M., PhD Ghirov G.B.
MATHEMATICAL FUNCTIONAL-STATISTICAL MODELS OF OBJECTS OF CONTROL
AND MANAGEMENT**

The article is devoted to the development of mathematical functional and statistical models of objects of control and management, analysis of differential systems of equations, which are determined using the following methods: method of differential equations, quasilinear equations, Monte Carlo method. When developing a mathematical functional-statistical model, it is taken into account that the network as an object of control can consist of systems of various classes and types. These systems can be autonomous and non-autonomous, closed and open, stationary and non-stationary, continuous and discrete. Therefore, to build a mathematical functional statistical model, it is necessary to use a fairly general mathematical apparatus, which with appropriate changes can be extended to individual cases. In addition, when building a mathematical functional and statistical model of the object, it is also necessary to have an idea of the main criteria by which the optimization of the characteristics of the control and management process. These criteria primarily include: the time required to complete the process as a whole and its components; probability of trouble-free operation; the probability of performing the task by various network elements included in the object, and the object as a whole; probability of error; delay in the transmission of control information; readiness factor; packet loss percentage; accuracy of work of various components of an infocommunication network (size of deviation of parameters from norm); cost, energy consumption and other important indicators.

The analysis and construction of the system of equations is carried out, which allows to determine the functional state of the object, the complex of the control system and to evaluate its efficiency. This will directly determine the probability of gradual failures of the object's systems both in normal mode and in the event of a crisis situation, maximum loads. For control and management can be any equipment, as well as the entire network as a whole. Criteria for optimal operation of the control system are its performance and reliability, which are determined by specific evaluation indicators (response time, error rate, system cost, etc.). These parameters, which directly or indirectly affect the criteria of optimality, can be varied in order to improve the efficiency of the control system.

Keywords: management process, network control, mathematical functional and statistical models, information model.