

ТЕОРІЯ ТА ЗАСОБИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

УДК 681.51

ЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ТЕЛЕКЕРУВАННЯ

Бичковський В. О., к.т.н., доцент

Циганенко С.П., студент

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Вступ. Постановка задачі

Системи телекерування (СТК) широко застосовуються в різних областях виробництва, на транспорті, в будівництві та при виконанні задач у військовій справі. Цільове призначення СТК – керування об'єктами або процесами на відстані та в недоступних для людини місцях. Оскільки СТК є складною системою, то при розв'язанні задач аналізу і синтезу необхідно виходити із загальної методології досліджень складних систем. На підставі сучасних філософських поглядів процеси керування, як і інші матеріальні процеси, розгортаються у просторі та часі і нерозривно пов'язані з процесами перетворення речовини, енергії та інформації. Методика аналізу процесу телекерування, яка базується на інформаційно – енергетичному підході, є відомою [1]. Одна із важливіших задач інформаційної теорії керування – з'ясування кількісних співвідношень між втратами інформації та точністю її відтворення, що дає можливість прогнозувати якість та ефективність систем керування [2]. Розв'язання цієї задачі для СТК є актуальним та має практичну спрямованість.

Теоретичні викладки

Прийmemo до уваги, що в СТК можна виділити три канали: канал контролю цілі, канал передачі даних та канал керування. Будемо аналізувати роботу пункту керування (ПК), на вхід якого подається інформація $I_{\partial}=I_{\partial}(t)$ по каналу передачі даних, а з виходу – інформація $I_{\kappa}=I_{\kappa}(t)$ в канал керування. Логічний аналіз на мікроскопічному рівні проведемо методом аналогій з використанням моделі алометричного росту [3]. Нехай K_{∂} – константа швидкості зростання кількості інформації в каналі передачі даних; K_{κ} – константа швидкості зростання кількості інформації в каналі керування. Тоді можна записати:

$$\frac{dI_{\partial}}{dt} = K_{\partial} \cdot I_{\partial}, \quad (1)$$

$$\frac{dI_{\kappa}}{dt} = K_{\kappa} \cdot I_{\kappa}. \quad (2)$$

На підставі рівнянь (1), (2) визначаємо

$$\frac{dI_{\kappa}}{dI_{\partial}} = \frac{K_{\kappa} \cdot I_{\kappa}}{K_{\partial} \cdot I_{\partial}} \quad (3)$$

Введемо позначення $b=K_{\kappa}/K_{\partial}$ та на підставі формули (3) запишемо

$$\frac{dI_{\kappa}}{I_{\kappa}} = \frac{b \cdot dI_{\partial}}{I_{\partial}} \quad (4)$$

Нехай на початку спостереження за системою телекерування $I_{\partial}=I_{\partial 0}$, $I_{\kappa}=I_{\kappa 0}$. Інтегруючи ліву частину рівняння (4) від $I_{\kappa 0}$ до I_{κ} , а праву від $I_{\partial 0}$ до I_{∂} , визначаємо

$$I_{\kappa} = a \cdot I_{\partial}^b, \quad (5)$$

де $a=I_{\kappa 0}/(I_{\partial 0})^b$. Нехай N_{κ} – інформаційна спроможність каналу керування, N_{∂} – інформаційна спроможність каналу передачі даних. Приймаючи до уваги, що $I_{\kappa}=\ln N_{\kappa}$, $I_{\partial}=\ln N_{\partial}$, на підставі формули (5) запишемо

$$N_{\kappa} = \exp[a \cdot (\ln N_{\partial})^b]. \quad (6)$$

Якщо γ_{κ} – відносна помилка каналу керування, γ_{∂} – відносна помилка каналу передачі даних, то $N_{\kappa}=1/2\gamma_{\kappa}$, $N_{\partial}=1/2\gamma_{\partial}$ [4]. Тоді на підставі формули (6) визначаємо

$$\gamma_{\kappa} = \frac{1}{2} \exp[-a \cdot (-\ln 2\gamma_{\partial})^b]. \quad (7)$$

Таким чином, встановлено залежність між відносними помилками каналу керування та каналу передачі даних.

Закон алометричного росту (5) (закон гетерогенії) досить добре описує картину реальних подій, але не враховує обмежень на кількість інформації, яка передається по каналах. Скористуємося знову методом аналогій, а саме застосуємо аналогію з топохімічною реакцією [5]. Тоді можна записати

$$\frac{dI_{\partial}}{dt} = K_{\partial} (I_{\partial m} - I_{\partial}), \quad (8)$$

$$\frac{dI_{\kappa}}{dt} = K_{\kappa} (I_{\kappa m} - I_{\kappa}), \quad (9)$$

де $I_{\partial m}$ – максимальне значення кількості інформації в каналі передачі даних; $I_{\kappa m}$ – максимальна кількість інформації в каналі керування. На підставі формул (8), (9) визначаємо

$$\frac{dI_{\kappa}}{I_{\kappa m} - I_{\kappa}} = \frac{b \cdot dI_{\partial}}{I_{\partial m} - I_{\partial}} \quad (10)$$

Інтегруючи ліву частину рівняння (10) від $I_{\kappa 0}$ до I_{κ} , а праву від $I_{\partial 0}$ до I_{∂} , визначаємо

$$\ln \frac{I_{\kappa m} - I_{\kappa 0}}{I_{\kappa m} - I_{\kappa}} = b \cdot \ln \frac{I_{\partial m} - I_{\partial 0}}{I_{\partial m} - I_{\partial}} \quad (11)$$

Після ряду перетворень формули (11) запишемо

$$I_{\kappa} = I_{\kappa m} - (I_{\kappa m} - I_{\kappa 0}) \cdot \left(\frac{I_{\partial m} - I_{\partial 0}}{I_{\partial m} - I_{\partial}} \right)^{-b}. \quad (12)$$

Прийmemo до уваги, що $I_{\kappa} = \ln N_{\kappa}$, $I_{\kappa m} = \ln N_{\kappa m}$, $I_{\kappa 0} = \ln N_{\kappa 0}$, $I_{\partial} = \ln N_{\partial}$, $I_{\partial m} = \ln N_{\partial m}$, $I_{\partial 0} = \ln N_{\partial 0}$. Тоді на підставі формули (12) знаходимо

$$\ln N_{\kappa} = \ln N_{\kappa m} - \left(\frac{\ln \frac{N_{\partial m}}{N_{\partial 0}}}{\ln \frac{N_{\partial m}}{N_{\partial}}} \right) \cdot \ln \frac{N_{\kappa m}}{N_{\kappa 0}}. \quad (13)$$

Переходимо до відносних помилок: $N_{\kappa} = 1/2 \gamma_{\kappa}$, $N_{\kappa m} = 1/2 \gamma_{\kappa \min}$, $N_{\kappa 0} = 1/2 \gamma_{\kappa \max}$, $N_{\partial} = 1/2 \gamma_{\partial}$, $N_{\partial m} = 1/2 \gamma_{\partial \min}$, $N_{\partial 0} = 1/2 \gamma_{\partial \max}$. На підставі формули (13) визначаємо

$$\gamma_{\kappa} = \gamma_{\kappa \min} \cdot \left(\frac{\gamma_{\kappa \max}}{\gamma_{\kappa \min}} \right)^{\alpha}, \quad (14)$$

$$\alpha = \left(\ln \frac{\gamma_{\partial}}{\gamma_{\partial \min}} \right)^{-1} \cdot \ln \frac{\gamma_{\partial \max}}{\gamma_{\partial \min}}. \quad (15)$$

Якщо на початку спостереження $I_{\partial 0} = 0$, $I_{\kappa 0} = 0$, то $\gamma_{\kappa \max} = 0,5$; $\gamma_{\partial \max} = 0,5$. На підставі формул (14), (15) запишемо

$$\gamma_{\kappa} = \frac{1}{2^l \cdot \gamma_{\kappa \min}^{l-1}}, \quad (16)$$

$$l = \left(\ln \frac{\gamma_{\partial}}{\gamma_{\partial \min}} \right)^{-1} \cdot \ln \frac{1}{2 \cdot \gamma_{\partial \min}}.$$

Таким чином, встановлено залежність між відносними помилками каналів керування та передачі даних при використанні топохімічної моделі.

Розглянемо ситуацію, коли кількість інформації I_{∂} не відразу реалізується в характеристиці I_{κ} . Це означає, що зростання I_{∂} спостерігається в каналі керування через деякий час [3]. Тоді замість формули (3) запишемо

$$\frac{dI_{\kappa}}{dI_{\partial}} = \frac{b \cdot I_{\kappa} \cdot (I_{\partial} - I_{\partial 3})}{I_{\partial}}, \quad (17)$$

де $I_{\kappa}(I_{\partial} - I_{\partial 3})$ – характеристика процесу в момент, який відповідає зміщеному значенню I_{∂} на величину $I_{\partial 3}$. Функцію аргумента, який запізнюється, можна розкласти в ряд Тейлора. Утримуючи два члени цього ряду, запишемо

$$I_{\kappa} \cdot (I_{\partial} - I_{\partial\partial}) = I_{\kappa} (I_{\partial}) - I_{\partial\partial} \frac{dI_{\kappa}}{dI_{\partial}}. \quad (18)$$

На підставі формул (17), (18) після ряду перетворень визначаємо

$$\frac{dI_{\kappa}}{I_{\kappa}} = \frac{b \cdot dI_{\partial}}{I_{\partial} + b \cdot I_{\partial\partial}}. \quad (19)$$

Нехай на початку спостереження $I_{\partial}=I_{\partial\partial}$, $I_{\kappa}=I_{\kappa\partial}$. Інтегруючи ліву частину рівняння (19) по I_{κ} від $I_{\kappa\partial}$ до I_{κ} , а праву по I_{∂} від $I_{\partial\partial}$ до I_{∂} , запишемо

$$I_{\kappa} = I_{\kappa\partial} \cdot \left(\frac{I_{\partial} + b \cdot I_{\partial\partial}}{I_{\partial\partial} + b \cdot I_{\partial\partial}} \right)^b. \quad (20)$$

Нехай є відомим, що максимальні значення кількості інформації в кінці спостереження $I_{\partial}=I_{\partial m}$, $I_{\kappa}=I_{\kappa m}$. Інтегруючи ліву частину рівняння (19) по I_{κ} від I_{κ} до $I_{\kappa m}$, а праву по I_{∂} від I_{∂} до $I_{\partial m}$, визначаємо

$$I_{\kappa} = I_{\kappa m} \cdot \left(\frac{I_{\partial m} + b \cdot I_{\partial\partial}}{I_{\partial} + b \cdot I_{\partial\partial}} \right)^{-b}. \quad (21)$$

Перейдемо від кількості інформації в каналах до інформаційних спроможностей N та відносних помилок γ , приймаючи до уваги, що $I = \ln N$, $N = 1/2\gamma$ [4]. Введемо такі позначення: $I_{\kappa} = \ln N_{\kappa}$, $I_{\kappa m} = \ln N_{\kappa m}$, $I_{\kappa\partial} = \ln N_{\kappa\partial}$, $I_{\partial} = \ln N_{\partial}$, $I_{\partial m} = \ln N_{\partial m}$, $I_{\partial\partial} = \ln N_{\partial\partial}$, $I_{\partial\partial} = \ln N_{\partial\partial}$. Тоді відповідні відносні помилки запишемо у наступному вигляді: $\gamma_{\kappa} = 1/2N_{\kappa}$; $\gamma_{\kappa\partial} = 1/2N_{\kappa\partial}$; $\gamma_{\kappa m} = 1/2N_{\kappa m}$; $\gamma_{\partial} = 1/2N_{\partial}$; $\gamma_{\partial\partial} = 1/2N_{\partial\partial}$, $\gamma_{\partial m} = 1/2N_{\partial m}$, $\gamma_{\partial\partial} = 1/2N_{\partial\partial}$. На підставі формули (20) знаходимо:

$$\gamma_{\kappa} = 2^{k-1} \cdot \gamma_{\kappa\partial}^k, \quad (22)$$

$$k = \left(\frac{b+1+b \cdot \log_2 \gamma_{\partial\partial} + \log_2 \gamma_{\partial}}{b+1+b \cdot \log_2 \gamma_{\partial\partial} + \log_2 \gamma_{\partial\partial}} \right)^{-b}. \quad (23)$$

На підставі формули (21) визначаємо:

$$\gamma_{\kappa} = 2^{n-1} \cdot \gamma_{\kappa m}^n, \quad (24)$$

$$n = \left(\frac{b+1+b \cdot \log_2 \gamma_{\partial\partial} + \log_2 \gamma_{\partial m}}{b+1+b \cdot \log_2 \gamma_{\partial\partial} + \log_2 \gamma_{\partial}} \right)^{-b}. \quad (25)$$

Таким чином, на підставі формул (22) – (25) можна визначити залежності відносних помилок в каналі керування від відносних помилок в каналі передачі даних.

Висновки

Використання методу логічного аналізу дає можливість формалізувати задачу телекерування, перевести її на якісно новий інформаційний рівень, прогнозувати якість та ефективність систем на підставі встановлених зако-

номірностей впливу помилок каналу передачі даних на помилки каналу керування. Представляється можливим (в залежності від конкретної ситуації) використання декількох моделей, які враховують реальні процеси в системах телекерування. Отримані результати можуть використовуватись як в процесі аналізу існуючих систем телекерування, так і при проектуванні та розробці нових систем.

Література

1. Бычковский В. А. Авиационные системы радиоуправления. – К.: КВВАИУ. – 1985. – 100с.
2. Прохоренко В. А., Смирнов А. Н. Прогнозирование качества систем. – Минск: Наука и техника. 1976. – 200с.
3. Чуев Ю. В., Михайлов Ю. Б., Кузьмин В. И. Прогнозирование количественных характеристик процессов. – М.: Сов. Радио. – 1975. – 400с.
4. Новицкий П. В. Основы информационной теории измерительных устройств. – М.: Энергия. – 1968. – 248с.
5. Стромберг А. Г., Семченко Д. П. Физическая химия. – М.: Высшая школа. – 1988. 496с.

Бычковський В. О., Циганенко С. П. Логічний аналіз процесу телекерування. В статті проведено аналіз роботи систем телекерування та встановлено залежності між відносними помилками в їх каналах. Для з'ясування основних закономірностей зміни відносних помилок запропоновано використання процедури логічного аналізу методом аналогій. Визначено залежності між інформаційними спроможностями каналів систем телекерування. Розглянуто ряд моделей процесів телекерування, які складено на підставі аналогій з топохімічними реакціями. Процедуру аналізу процесу телекерування виконано на макроскопічному рівні. Проаналізовано ситуації, коли відомими є значення кількості інформації в каналі передачі даних та каналі керування на початку спостереження. Розглянуто випадок, коли доступними є дані про максимальну кількість інформації в каналі передачі даних та каналі керування в кінці спостереження. Встановлено залежності між відносними помилками в різні моменти спостереження.

Ключові слова: логічний аналіз, метод аналогій, телекерування.

Бычковский В. А., Цыганенко С. П. Логический анализ процесса телеуправления. В статье проведен анализ работы систем телеуправления и установлены зависимости между относительными ошибками в их каналах. Для выяснения основных закономерностей изменения относительных ошибок предложено использование процедуры логического анализа методом аналогий. Определены зависимости между информационными способностями каналов систем телеуправления. Рассмотрен ряд моделей процессов телеуправления, которые составлены на основании аналогий с топохимическими реакциями. Процедура анализа процесса телеуправления выполнена на макроскопическом уровне. Проанализированы ситуации, когда известными являются значения количества информации в канале передачи данных и канале управления в начале наблюдения. Рассмотрен случай, когда доступными являются данные про максимальное количество информации в канале передачи данных и канале управления в конце наблюдения. Установлены зависимости между относительными ошибками в разные моменты наблюдений.

Ключевые слова: логический анализ, метод аналогий, телеуправление.

Bychkovsky V. A., Tsyganenko S. P. Logical analysis of process telecommand. In the article the analysis of work systems of telecommand and set the relationship between the relative errors in their channels. To identify the main patterns of the relative errors using the procedure proposed by the logical analysis of analogies. The dependence between information of the channels systems telecommand. Considered a number process models telecommand which are based on an analogy with the topochemical reactions. The analysis procedure the telecommand process performed on the macroscopic level. Situation for know meanings of information in transmission datas canal and in control canal on beginning of observation was analyse. Situation for known meanings of information in transmission datas canal and in control canal on end of observation was analyse. The dependences between relative errors in different observation moments was determine.

Keywords: *logical analysis, the method of analogies, telecommand.*