УДК 681.32

А. А. Тимченко, *д.т.н., професор*[*]
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОЇ ЗАДАЧІ. ЗАДАЧІ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ

«В будь-якій науці стільки істини,
скільки в ній математики»
Еммануїл Кант

Викладено результати системного аналізу категорій: <система>→<модель>, <задача>→<розв'язок>, а також <мета>→<засіб>. Об'єктом дослідження виступають моделі лінійних статичних та динамічних систем. Розглядаються різні види постановок задач, котрі випливають із практичних застосувань. Проведений системний аналіз задач дає можливість відповідно систематизувати програмно-методичні та програмно-технічні засоби їх розв'язування на ЕОМ.

Ключові слова: *елементи, зв'язки, структура, система «вхід – вихід», модель взаємодій, граф потоків сигналів, системний аналіз та підхід, задача, пряма та обернена задачі.*

Вступ. Методика системного аналізу. Розглянемо метод системного аналізу як послідовність етапів дослідження:

*<цілі (*вимоги*)> → <задачі> → <методи (*алгоритми*)> → <інформаційно-методичні та програмно-технічні засоби> → <результати (*оцінки*)>,*

Послідовність будемо розглядати як кортеж:

$$S = \langle E_{ij},\ Z,\ T_z,\ A_z,\ 3\rangle, \qquad (1)$$

де E_{ij} – композиція цілей;
$T_z\ \left((M_z, C_z), K_z(R_z)\right)$ – метод розв'язання: M_z – модель задачі Z; C_z , – обмеження, R_z – результат розв'язку задачі Z; K_z – оцінка результату; $A_z = (Q, Y, B, E_{ij}(H))$ – алгоритм розв'язання: Q – динамічна операція алгоритму, Y – його структура, B – простір даних, H – цільова множина; З=$(M, O, I, П, T)$ – відповідно види забезпечення: М – методичне, О – організаційне, І – інформаційне, П – програмне, Т – технічне [1–3].

Мета дослідження. Вимоги та оцінки. Як мету дослідження будемо розглядати процес побудови математичних моделей при розробці широкого класу *мереж* (*матеріальних, енергетичних та інформаційних*). При подальшому дослідженні вважаємо, що вузол кожної з мереж можливо розглядати як систему:

<вхід (входи)> → <перетворення> → <вихід (виходи)>.

В задачах проектування систем мереж використовується технологічна послідовність етапів дослідження, яка будується на базі класичної технологічної послідовності [3]:

<синтез> → <аналіз> → <прийняття рішень>.

На кожному з етапів задаються відповідно *вимоги* до вибору варіантів на базі критеріальних функцій (від жорстких до більш помірних), а також відбувається верифікація (контроль та *оцінка*) з метою досягнення виконання відповідної вимоги типу предикат:

$$\chi_c = [X_м - X_c = 0]\ ,$$
$$\chi_g = [X_м(t) - X_c(t) = e(t)].$$

Розглядаючи вузол мережі як *статичну* χ_c (або *динамічну* χ_g) систему, яка може бути описана відповідним співвідношенням [4]:

$$A\,X - B\,Y = 0. \qquad (\dot{X} = A\,X + B\,Y). \qquad (2)$$

Тоді можливими є такі *постановки задач*: традиційно-пряма задача, обернена задача а також задача ідентифікації параметрів.

Системний аналіз задач дослідження. В основу викладення результатів системного аналізу задач покладено технологічне (еволюційне) визначення складної системи [4]:

$$\Sigma = \left\langle E(\omega_\alpha)_{\alpha\in\Lambda}, (Z_\tau(s))^{\tau\in\Gamma}_{s\in S}, (f_{e\alpha\tau})^{e\in E,\alpha\in\Lambda}_{\tau\in\Gamma}, (\chi_{\alpha\tau})^{\alpha\in\Lambda}_{\tau\in\Gamma}, \chi, J\right\rangle, \qquad (3)$$

де $E(.)$ – множина елементів; (ω_α) – сімейство структур; $(Z_t(.))$ – сімейство просторів сигналів *S*; (f_{cat})– сімейство операторів елементів системи Σ ; χ_{at}, χ – простір цілей; $J_{at,} J(\chi_{at}, \chi)$ – цільові функції.

Це є деякою мірою технологічна послідовність перетворень моделей системи залежно від *етапу обслуговування* (користуючись поняттям *«теорія обслуговування»*). Такого типу моделі мають інтегративні властивості відповідно до етапів системного аналізу:

<структуризація> → <алгоритмізація> → <цілеорієнтація>,

де система (модель) відповідно *структурується*, *алгоритмізується* і *технологічно використовується* відповідно до послідовності

<структура>→<функція>→ →<технологія>.

Прямі задачі побудови моделі формулюються наступним чином (*структурний етап*).

Надано результати експериментальних вимірів (типу значень входів – виходів), отриманих як пасивними методами, так і плануванням експериментів, які проводяться при дослідженні основних законів природи (механічні, теплові, електротехнічні та інші). На перших етапах використання законів природи система розглядається як частина середовища (матеріального, енергетичного або інформаційного), яка в подальшому розглядається як можливість створення сукупності пов'язаних відповідним чином елементів. Це може бути або макет, або математична чи імітаційна моделі.

Системні дослідження моделей як на *структурному*, так і на *функціональному* рівнях представлені в роботах [5–6].

Зворотні задачі (при побудові моделей як статики, так і динаміки) розв’язуються різними групами фахівців як інженерно-прикладними, так і теоретико-математичними методами системного аналізу, який, будучи системно-технологічною (дослідницькою) дисципліною, дає змогу виявити як сукупність елементів, так і зв’язки між ними.

Ясно, що перед тим, як приймати рішення, його потрібно відповідним чином підготувати, щоб задовольнити *системні вимоги (від повного задоволення через оптимальність до «попадання в допустиму область»)*. Ця технологія цілком укладається в поняття концепції «чорного ящика» (стохастичний метод), яка в подальшому наповнюється відповідно в «сірий ящик» (статистичний підхід), а також «білий ящик» (детермінована постановка), де використовується технологічне (еволюційне) визначення системи у вигляді (3).

Системна постановка задачі побудови математичної моделі статичної системи.

1а. Знайти невідоме *X* (вихід), знаючи *Y* (вхід) і матриці *A* та *B* (традиційно *пряма задача*). Формально можна записати $X = A^{-1} B Y$.

1б. Задаючи значення *X* як відомого, а також матриць *A* та *B,* знайти невідомий вхід *Y*.

Формально це запишеться (традиційна *обернена задача*): $Y = B^{-1} A X$.

2. Знайти невідомі матриці *A* та *B* при заданих входах (*Y)* і виходах (*X*) (*задача ідентифікації параметрів моделі*). *Розглянемо використання системного підходу до задач створення моделей лінійних статичних систем.*

Статичний елемент як система

Розглянемо статичну *систему як елемент*. В цьому випадку математичні елементи – це окремі рівняння системи алгебраїчних рівнянь.

У математичному вигляді це система двох алгебраїчних рівнянь поелементного (*x*) та системного (*z*) виходів: $a\,x = b\,y,\ z = cx$.

В подальшому для *візуалізації* математичної залежності використовуються *графи потоків сигналів.* Математична модель елемента випливає із закону про вузол мережі, де $ax - by = 0$, тобто алгебраїчна сума вузла дорівнює нулю.

Структурний етап

Задача 1а. Будемо вважати, що *задана* досліджувана система має один вхід *y* й один вихід *x* і складається з одного елемента з параметрами a і b, а $c = 1$.

Потрібно знайти вихід *x* системи, використовуючи цю залежність, тобто розв’язуючи при цьому алгебраїчне рівняння: $x = a^{-1}by$, причому на графі необхідно перенести сумарний вузол з входу елементів на його виходи, тобто перенести вершину суми з початку графу до його кінця.

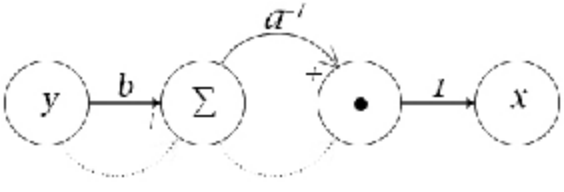

Рис. 1. Граф Мейсона статичного елемента

Задача 1б. Інколи виникає потреба пошуку невідомого входу *y* при заданому виході *x*, тоді $y = b^{-1}ax$.

Продовжуючи структурні дослідження, можемо стверджувати, що формальні залежності є параметризованою моделлю деякої фізичної системи, причому, змінюючи значення коефіцієнтів параметра, можемо отримати додаткові структурні варіанти: наприклад, як використання з'єднання не тільки прямих зв'язків (паралельне з'єднання), а й зворотних (рис. 2).

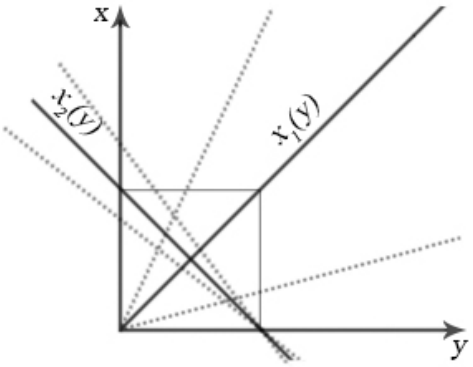

Рис. 2. Статичні характеристики

В свою чергу, можна було б вважати, що коефіцієнт перетворення *a* є комплексним значенням циклу (a, *l)* на попередньому етапі дослідження системи: $a = a(1 \mp l\, a)^{-1}$. (4)

Параметричний етап

Відомі три підходи до дослідження: детермінований, статистичний і ймовірнісний (стохастичний). Можлива також послідовність від повної невизначеності до повної визначеності, і навпаки.

Задача 2. Потрібно знайти невідомі значення параметрів *a* і *b* залежності (2) для подальшого уточнення моделі, одержуючи при цьому конкретну залежність, що відповідає *статичній характеристиці* реальної фізичної системи (рис. 2.) Маючи два невідомі параметри *a* та *b*, як мінімум, потрібно скласти систему двох алгебраїчних рівнянь відносно цих параметрів:

$$x_1\, a = y_1\, b, \qquad x_2\, a = y_2\, b. \qquad (5)$$

Ясно, що при цьому необхідні дані про закони зміни змінних *x* та *y*, які дослідник отримує в результаті *фізичних* експериментів (пасивних або активних). Ці дослідження практично не відрізняються від традиційного дослідження функцій однієї змінної. Тому, зазвичай отримується змінна $x = f^{-1}(y)$ та її обернена $y = f^{-}(x)$. Використовуючи значення цих спостережень, вимірних даних, визначаємо при цьому невідомі параметри *a* та *b* [7–8].

Постановка задачі ідентифікації

Розглядається об'єкт, що має одну вихідну змінну x_i та декілька вхідних змінних y_j, представлених вектором $y = (y_1, y_2, ...y_m)$. Відомі дані спостережень про значення вихідної та вхідних змінних подано в табл. 1.

Таблиця 1

Дані спостережень

Змінні	Спостереження		
	1		***n***
Вхідна змінна y_1	y_{11}	…	y_{n1}
Вхідна змінна y_2	y_{12}	…	y_{n2}
Вихідна змінна x_1	x_1	…	x_n
Вихідна змінна x_2	*Використання режиму 2*		

Задача ідентифікації (апроксимації) полягає у знаходженні функціональної залежності заданого виду, що найліпше відповідає даним спостережень з точки зору критерію методу найменших квадратів [5].

Нехай x_i – спостережувані значення вихідної змінної, $x_i^f = f(y_i)$ – розраховані за даною функціональною залежністю $f(y_i)$, знаючи значення вихідної змінної. Ідея критерію методу найменших квадратів полягає в тому, що розбіжність між спостережуваними і розрахованими значеннями вихідної змінної повинна бути мінімальною. Якщо розбіжність вимірювати сумою різниць $e = (x_i - x_i^f)$, то може статися так, що навіть при великих значеннях загальна розбіжність є досить незначною. Тоді розбіжність вимірюють сумою квадратів різниць $\varepsilon = \sum_i (x_i - x)^2$ [7–8].

Статична система як матричний елемент

Розглянемо модель фізичної системи, яка має два входи і два виходи та два елементи і зв'язки – прямі й зворотно-перехресні, що існують між елементами, на прикладі двох рівнянь (рис. 3):

$$x_1 = a_{11}^{-1}\left((b_{11} + b_{12}y_2) - a_{12}x_2\right),$$
$$x_2 = a_{22}^{-1}\left((b_{21}y_1 + b_{22}y_2) - a_{21}x_1\right). \quad (6)$$

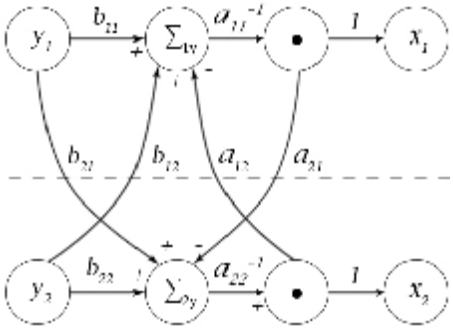

Рис. 3. Граф Мейсона моделі двоканальної системи

Розглянемо розв'язок двох рівнянь, де між елементами існують тільки прямі зв'язки:

$$x_1 = A_{11}^{-1}(a_{22}\, b_{11}\, y_1 - a_{12}\, b_{11}\, y_2),$$

$$x_2 = A_{22}^{-1}(a_{22}\, b_{11}\, y_1 - a_{12}\, b_{11}\, y_2),$$

$$A_{11} = A_{22} = (a_{11}\, a_{22} - a_{12}\, a_{21}). \qquad (7)$$

Розв'язана система двох рівнянь (автономна) зображена на рис. 4.

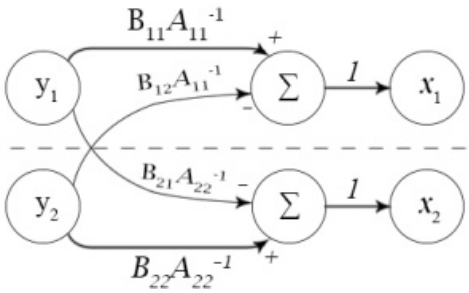

Рис. 4. Граф-схема двох незалежних рівнянь

Системна постановка задачі побудови математичної моделі динамічної системи

Математичні динамічні елементи на першому етапі – елементарні, (наприклад лінійні диференційні залежності), а в загальному випадку – функціональні залежності типу коефіцієнтів впливу одного елемента на інший. Ясно, що перед тим, як приймати рішення, його потрібно відповідним чином підготувати, щоб задовольнити *системні вимоги*: *від повної відповідності через оптимальність до «попадання в допустиму область»*.

Системні дослідження лінійної динамічної системи як на *структурному*, так і на *функціональному* рівнях представлені в роботах [9–10], де розглядається матричне рівняння

$$\dot{X}(t) = AX(t) + BY(t), \qquad (8)$$

яке є подальшим розвитком рівняння (2) і в операторному записі має вигляд

$$(p - A)\, X = B\, Y, \qquad P = \frac{d}{dt} \qquad (9)$$

за рахунок використання похідної вектора виходу *X(t)*. При цьому можливі наступні постановки задач.

Структурний етап (задача структурної ідентифікації):

Задача 1а. Знайти невідоме *X(t)* (вихід), знаючи вхід *Y(t)*, матриці *A*, *B* та $\dot{X}(t)$.

Формально можна записати $X(t)=A^{-1}B\, Y(t)$.

Задача 1б. Задаючи значення *X(t)* як відомого, а також матриці *A*, *B* та $\dot{X}(t)$, знайти невідомий вхід *Y(t)*.

Формально це запишеться $Y(t) = B^{-1}\, A\, X(t)$

(традиційна обернена задача).

Параметричний етап. (задача параметричної ідентифікації)

2. Знайти невідомі матриці *A* та *B* при заданих входах *X(t)*, $\dot{X}(t)$ та виходах *Y(t)*.

Системний підхід до аналізу задач та створення динамічних систем

Розглянемо динамічну *систему як динамічний елемент*.

В математичному вигляді це система двох рівнянь: елементного ($\dot{x}(t)$) та системного ($z(t)$) виходів:

$$px(t) = a\, x(t) + b\, y(t), \quad z = cx(t). \qquad (10)$$

В подальшому для *візуалізації* математичної залежності використовуються *графи потоків сигналів.* Вираз (10) випливає із закону про вузол: $px(t) - a\, x(t) - b\, y(t) = 0$, $p = \frac{d}{dt}$.

Задача 1а. (структурний етап). Будемо вважати, що задана досліджувана фізична система має один вхід *y(t)* і один вихід *x(t)*, і складається з одного динамічного елемента з параметрами *a і b*, причому *c* = 1.

Потрібно знайти вихід системи, використовуючи цю залежність (10), тобто розв'язуючи при цьому це алгебраїчне рівняння.

Граф Мейсона моделі зображено на рис. 5.

$$x(t) = p^{-1}(by(t) - ax(t)), \quad p^{-1} = \int_0^1 dt.$$

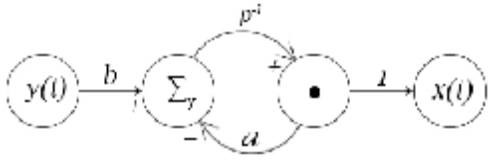

Рис. 5. Граф Мейсона моделі динамічного елемента

Задача 1б. Інколи виникає потреба пошуку невідомого входу *y* при заданому виході *x*, його похідній $\dot{x}$. Тоді $y(t) = b^{-1}(p - a)x$.

Продовжуючи структурні дослідження, можемо стверджувати, що наведені вище формальні залежності є параметризованою мо-

деллю фізичної системи, причому, змінюючи значення коефіцієнтів параметрів, можемо отримати додаткові структурні варіанти: наприклад, як з'єднання не тільки прямих зв'язків (паралельне з'єднання, послідовне з'єднання, а також зворотно-паралельне).

Задача 2 (параметричний етап). Для подальшого дослідження потрібно знайти невідомі значення параметрів матриць *A* і *B* залежності (9), одержуючи при цьому конкретний розв'язок, що відповідає динамічним характеристикам реальної фізичної системи. Ясно, що при цьому необхідні дані про закони зміни змінних *x(t)* та *y(t)*, які дослідник отримує в результаті *фізичних* експериментів (пасивних або активних) (табл. 2).

Таблиця 2

Дані спостережень

Змінні	Спостереження		
	t_1	…	t_n
Вхідна змінна $y_1(t)$	y_{11}	…	y_{n1}
Вхідна змінна $y_2(t)$	y_{12}	…	y_{n2}
Вихідна змінна $x_1(t)$	x_{11}	…	x_{1n}
Вихідна змінна $x_2(t)$	x_{21}	…	x_{2n}
Похідна змінна $\dot{x}_1(t)$	$\dot{x}_{11}$	…	$\dot{x}_{1n}$
Похідна змінна $\dot{x}_2(t)$	$\dot{x}_{21}$	…	$\dot{x}_{2n}$

Використовуючи параметризовану модель, отримаємо розв'язок диференційного рівняння першого порядку (рис. 6).

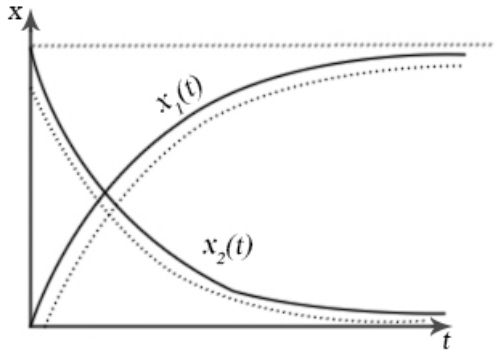

Рис. 6. Графіки перехідних процесів

Динамічна система як матричний елемент. Розглянемо приклад двох рівнянь – фізична система має два входи і два виходи та два елементи і зв'язки між елементами, включаючи не тільки прямі, а й зворотно-перехресні (рис. 6, 7).

Ці дослідження практично не відрізняються від традиційного дослідження функцій однієї змінної. Використовуючи вимірні значення та підставляючи їх у рівняння даних, ми вважаємо, що $x(t) \equiv x_i(t)$, а $y(t) \equiv y_i(t)$.

Задачі 1а та 1б формулюються таким чином: шукається структура моделі динамічної системи у вигляді матричного рівняння, де матриці *A* та *B* відповідно задані.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}, \qquad (11)$$

де *x(t)=(* $x_1(t), x_2(t)$ *)* – вектор виходів, *y(t)=* $(y_1(t), y_2(t))$ – вектор входів, $\dot{x}(t) = (\dot{x}_1(t), \dot{x}_2(t))$ – вектор похідних.

Система операторних рівнянь має вигляд графа Мейсона та зображена на рис. 7.

$$x_1(t) = p^{-1}(b_{11}y_1 + b_{12}y_2 - a_{11}x_1 - a_{12}x_2)$$
$$x_2(t) = p^{-1}(b_{21}y_1 + b_{22}y_2 - a_{21}x_1 - a_{22}x_2)$$
$$p = \frac{d}{dt},\ p^{-1} = \int_0^1 dt.$$

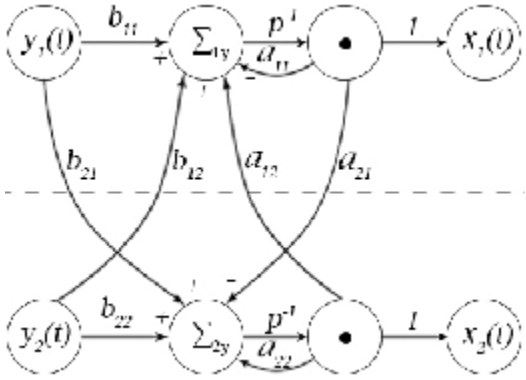

Рис. 7. Граф-схема системи двох диференційних рівнянь

Розглянемо задачу *автономності* каналів відповідно до системи наведених вище операторних рівнянь, розв'язуючи їх відносно виходів $x_1(t)$ та $x_2(t)$. Тоді в матричному вигляді можливо записати

$$A(p)\,X = B(p)Y, \qquad (12)$$
$$A(p) = \begin{pmatrix} (a_{11}+p) & a_{12} \\ a_{21} & (a_{22}+p) \end{pmatrix},$$
$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}, Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}.$$

Табличні значення похідних $\dot{x}_1(t), \dot{x}_2(t)$ можливо знайти із апроксимованих таблиць $\dot{x}_1(t)$, $\dot{x}_2(t)$, використовуючи програму IDENT [7], як у попередньому прикладі. Підготувавши необхідні дані для програми IDINS

в режимі x*(t)*/y*(t)*, вводячи значення вхідних та вихідних змінних відповідно до таблиць даних в момент часу t_i, знаходимо матриці *A* та *B*. Результати дослідження фізичної системи задані табл. 2. Для перевірки використовується програмне середовище [8].

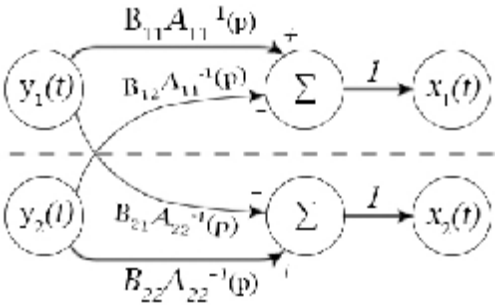

Рис. 8. Граф-схема системи двох елементів та входів і виходів

$$x_1(t) = A_{11}^{-1}(p)(B_{11}y_1 + B_{12}y_2),$$
$$x_2(t) = A_{22}^{-1}(p)(B_{21}y_1 + B_{22}y_2), \qquad (13)$$
$$A_{11}(p) = A_{22}(p).$$

Підводячи підсумок плану системного дослідження, можна зробити висновок, що використаний системний підхід до аналізу моделей у вигляді такої послідовності етапів:

<цілі>→<задачі>→<алгоритми>→ <програми>→<програмно-методичний комплекс ФАКТОР>→<та програмно-технічний комплекс у вигляді ЕОМ>

При цьому використана категорія: <об`єкт дослідження>→<процес дослідження>.

Системний аналіз ефективності процесів та якості результатів

Будемо вважати системним дослідженням процес отримання моделі цілеспрямованої системи у базисі системних властивостей системних ресурсів та структурах життєвих циклів, реалізацію якого можна описати відображенням [9–10]

$$F_d: \langle S_v, S_r, S_c \rangle \rightarrow R_з, \qquad (14)$$

де S_v – системні властивості, S_r – системні ресурси, S_c – структура життєвого циклу системи, $R_з$ – результуючий варіант.

З позиції системного підходу F_d визначають як багаторівневі та багатовимірні перетворення вихідних даних, результуючими категоріями є аспекти будови (архітектурні та структурні характеристики), оптимальні параметри процесів та відповідні оцінки в категоріях ефективності та якості. Будемо вважати, що основна мета цього дослідження, пов'язаного з побудовою адекватних моделей як статичних, так і динамічних систем, досягнута з використанням методу системного аналізу та підходу (табл. 3).

Таблиця 3

Логічна схема дослідження

Рівні	Етапи		
	Структуризація	Алгоритмізація	Цілеорієнтація
Будова	*AX=BY*	*Ẋ(t)=AX(t) +BY(t)*	$\chi_b = [X_м - X_c = 0]$
Функція	*A, B*	*A(p), B(p)*	$\chi_f = [X_м(t) - X_c(t) = 0]$
Оцінка	$E = (X_м - X_c)$ $E \rightarrow opt$ *(E=0)*	$E(t) = \begin{pmatrix} X_м(t) - \\ X_c(t) \end{pmatrix}$ E(t)=0	$J=J(\chi_b, \chi_f)$ $J \rightarrow opt$

Основні висновки. Таким чином, можливо підвести підсумок проведеному аналізу двох класів лінійних систем: *статичних та динамічних*. На базі закону про вузол на графі потоків-сигналів формулюються закони про статичну або про динамічну *рівновагу*. Це відповідає двом першим законам Ньютона. На базі цих законів формулюються постановки відповідно таких типів задач: знайти невідомі виходи або входи (структурний етап), а також вирази для перетворення елементів (параметричний етап).

При цьому використовується деяка *сукупність математичних підзадач*, які пов`язані з розв`язанням алгебраїчних або диференційних рівнянь. На прикладах моделей систем з двома входами та виходами розглядається система двох алгебраїчних або диференційних рівнянь.

Викладення матеріалу супроводжується представленням у вигляді графів потоків-сигналів Мейсона, що дає можливість візуалізувати всі процеси побудови математичних моделей як структурної, так і параметричної ідентифікації. В подальшому бажано розглянути питання використання математичних моделей при проектуванні складних систем.

Список літератури

1. Тимченко А. А. Системний аналіз процесів і моделей взаємозв'язків та взаємодій. Лінійні статичні системи. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2017. № 1. С. 111–117.
2. Тимченко А. А. Системний аналіз процесів і моделей взаємозв'язків та взаємодій. Лінійні динамічні системи. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. *Серія: Технічні науки*. 2017. № 3. С. 127–128.
3. Тимченко А. А. Системні дослідження в науці та техніці. Частина V. Математичне моделювання. Системний підхід. Системний аналіз моделей та методів їх побудови. Черкаси: ЧДТУ, 2012. 55 с. (*Бібліотечка Вісника Черкаського державного технологічного університету.*)
4. Тимченко А. А. Эволюционное определение сложной системы. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2010. № 1. С. 105–110.
5. Гетманьцев В. Д. Лінійна алгебра і лінійне програмування: навч. посіб. Київ: Либідь, 2011. 256 с.
6. Гантеев А. В., Якымова А. С., Босов А. В. Обыкновенные дифференциальные уравнения в примерах и задачах: учеб. пособие. Москва: Изд-во МАИ, 2010. 380 с.
7. Комплекс программ факторизации, идентификации и прогнозирования характеристик сложных систем «ФАКТОР». Киев: ИК им. В. М. Глушкова АН УССР, 2015. 2 с.
8. Дьяконов В. Г. Mathematica 5.1; 5.2; 6.0. Программирование и математические вычисления. ДМК Пресс, 2010. 576 с.
9. Тимченко А. А. Системні дослідження в науці та техніці. Частина II. Технологія наукових досліджень. Черкаси: ЧДТУ, 2016. 68 с.
10. Тимченко А. А. Системний підхід до наукового дослідження (етапи розвитку науково-технічної задачі). Частина III. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. № 4. С. 145–151.

References

1. Tymchenko, A. A. (2017) System analysis of processes and models of interconnections and interactions. Linear static systems. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, № 1, pp. 111–117 [in Ukrainian].
2. Tymchenko, A. A. (2017) System analysis of processes and models of interconnections and interactions. Linear dynamic systems. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, № 3, pp. 127–128 [in Ukrainian].
3. Tymchenko, A. A. (2012) System research in science and technology. Part V. Mathematical modeling. System approach. System analysis of models and methods of their construction. Cherkasy: ChDTU, 55 p (*Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*) [in Ukrainian].
4. Tymchenko, A. A. (2010) Evolutionary definition of a complex system. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky,* № 1, pp. 105–110 [in Russian].
5. Hetmantsev, V. D. (2011) Linear algebra and linear programming. Kyiv: Lybid, 256 p. [in Ukrainian].
6. Ganteev, A. V, Yakymova, A. S, Bosov, A.V. (2010) Ordinary differential equations in examples and tasks. Moskow: Publishing house MAI, 380 p. [in Russian].
7. A complex of programs of factorization, identification and forecasting of characteristics of complex systems "FACTOR" (2015). Kyiv: IK im. V. M. Glushkova AN USSR, 2 p. [in Russian].
8. Dyakonov, V. G. (2010) Mathematica 5.1; 5.2; 6.0. Programming and mathematical calculations. DMK Press, 576 p. [in Russian].
9. Tymchenko, A. A. (2016) System research in science and technology. Part II. Technology of scientific research. Cherkasy: ChDTU, 68 p. [in Ukrainian].
10. Tymchenko, A. A. (2015) System approach to scientific research (stages of development of scientific and technical task). Part III. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, № 4, pp. 145–151 [in Ukrainian].

A. A. Tymchenko,. *Dr.Tech.Sc.*, *professor*[*]
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

SYSTEM ANALYSIS OF MATHEMATICAL TASK. MODELING TASKS

The results of system analysis of the categories: <system>→<model>, <task>→<solution>, and also <aim>→<means> are stated. The models of linear static and dynamic systems act as an object of research. Various kinds of problem definitions which arise out of practical applications are considered. Conducted system analysis of tasks allows to systematize program-methodological and program-technical means of their solution on computer at wider application.

The technology and research system as networks of connected elements, where network communication is determined as a structure, are considered.

Key words: *elements, relations, structure, "input – output" system, interaction model, graph of signal flows, system analysis and approach, task, direct and indirect tasks.*

[*]*У підготовці статті до друку взяли участь к.т.н., доцент Андрієнко В. О., магістри: Чабан Ю. В., Теслюк Д. В.*

Статтю представляє А. А. Тимченко, д.т.н., професор.