УДК 519.857:621.929.7:631.3

ЛОГІКО-ДИНАМІЧНІ ДВОРІВНЕВІ СТРУКТУРИ ТА МАТРИЧНІ МОДЕЛІ ЗВ'ЯЗКІВ ВІБРАЦІЙНИХ ВУЗЛІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Лисогор В. М
Єленіч М. П
Яропуд В. М
Зегер М. С
Вінницький національний аграрний університет
Lysogor V.
Yelenich M.
Yaropud V.
Seger M.
Vinnytsia National Agrarian University

Анотація: *Запропоновані логіко-динамічні дворівневі структури та розробленні матричні моделі зв'язків вібраційних вузлів сільськогосподарських машин. Структури та формалізовані моделі зв'язків реалізуються як багатоетапні процеси. Новизна підходу характеризує автоматичне рішення задачі уточнення початку і кінця етапів досліджуваного процесу. Формально описано сукупність елементів, яка заключається в обгрунтуванні всієї множини елементів. Наведено складові елементи, що утворюють реальний промисловий спеціальний вібропрес. Продемонстровано розроблену методику на контрольному прикладі.*

Ключові слова: *дворівнева структура, логіко-динамічна модель, вібраційні вузли, сільськогосподарські машини.*

Вступ

Використання вібраційних вузлів та пристроїв у сільськогосподарському виробництві має достатньо широке розповсюдження. Відомі фундаментальні дослідження наукові школи Р.Д. Ісковича-Лотоцького на терені розробки процесів та машин вібраційних і віброударних технологій [1, 2]. Опубліковані монографії К.Д. Жука та його учнів [3, 4] у новому напрямку теоретичних розробок та наукових досліджень по створенню ієрархічних структур і математичних моделей зв'язків вібраційних вузлів між собою сільськогосподарських машин. Використовуючи вказаний підхід, можливо отримати оригінальні результати по автоматизації наукового експерименту і нові синергетичні ефекти. Підводячи підсумок вступної частини констатуємо, що створення дворівневої структури та матричних моделей зв'язків вібраційних вузлів сільськогосподарських машин є достатньо актуальною темою, що чекає свого повного чи частково вирішення.

Мета публікації

Запропонувати логіко-динамічні дворівневі структури та розробити матричні моделі зв'язків вібраційних вузлів сільськогосподарських машин. Структури та формалізовані моделі зв'язків повинні функціонувати, як багатоетапні процеси. Новизна підходу буде характеризуватись автоматичним рішенням задачі уточнення початку і кінця етапів досліджуваного процесу.

Постановка задачі дослідження

Аналіз дослідження динаміки спеціального вібропреса заключається у наступному. Сукупність інерційних елементів, що зв’язані пружинними та дисипативними ланками складають цей вібропрес зі зворотно-гвинтовим рухом вібростолу, який є верхнім рівнем системи. Гідроімпульсний привід (ГІП) з гідрозбуджувачем утворюють матричні моделі зв’язків, які на системній мові утворюють нижній рівень спеціального вібропреса [1], а разом верхній та нижній рівні складають повний спеціальний вібропрес.

Пропонована публікація присвячена викладенню сутності методики структурного і зв’язного моделювання логіко-динамічної системи (ЛДС) [3], яка дає можливість формального опису системи на різних рівнях її представлення. Сукупність структурних елементів множини $\{E_1, E_2, ..., E_N\}$ повинні бути упорядковані по заданому принципу, де виділені множини вхідних змінних $\{x^e_1, x^e_2, …, x^e_i, x^e_N\}$ та вихідних змінних $\{y^e_1, y^e_2, …, y^e_i, y^e_N\}$. Сукупність елементів визначимо як множину локальних одиниць системи. Формальний опис такої сукупності та її зв’язків отримаємо об’єднанням описів окремих елементів і матричних моделей взаємозв’язку, на які ми попередньо розділили віброударну систему сільськогосподарського призначення. Опишемо спочатку окремі елементи системи: гідроциліндр, вібростіл, упорний підшипник, шарнір, кривошип, пружне повернення з шарнірами, станина, пружини, штокова порожнина гідроциліндра, плунжери гідроциліндрів, вібрезбуджувачі амортизатори, рухома траверса, пневмоциліндр, шток, капсула, заготовка, пуансон. Наведені складові елементи утворюють реальний промисловий спеціальний вібропрес [1]. Зауважимо, що перераховані елементи складають структуру системи. Гідравлічні, пневматичні, механічні ланки зв’язку будемо аналізувати у цій ситуації на другому етапі наших досліджень.

Матеріали основного результату

Опис структурних елементів системи та їх сукупностей буде підпорядковано такому алгоритму. Припустимо, що система розділена на кінцеве число елементів. Позначимо кількість цих елементів через N, окремі елементи через $E_1, E_2,..., E_N$. Тоді під сукупністю елементів будемо розуміти множину виду $\{E_1, E_2, ..., E_N\}$ упорядкованих по деякому принципу.

Позначимо вхідні змінні елементів через множини $\{X^e_1, X^e_2,…, X^e_i, X^e_N\}$, вихідні відповідно через $\{Y^e_1, Y^e_2,…, Y^e_i, Y^e_N\}$. З точки зору формального опису збільшення мірності вхідних і вихідних змінних приводить до необхідності користування векторними величинами вигляду X^e_1, Y^e_1.

Кожний елемент описується перетворенням «вхід-вихід» у вигляді:

$$G_i^e = G_i(D,(\cdot)),\ D \equiv d/dt,\ i = 1, 2,..., N. \tag{1}$$

У лінійному випадку прийме вигляд:

$$G_i^e = G_i(D) = B_i(D)/A_i(D), \tag{2}$$

де

$$B_i(D) = b_m D^m + b_{m-1} D^{m-1} + ... + b_1 D + b_0. \tag{3}$$

$$A_i(D) = a_n D^n + a_{n-1} D^{n-1} + \ldots + a_1 D + a_0. \quad (4)$$

Причому для фізично реалізованих систем $m \leq n$. Таким чином, лінійні та нелінійні елементи можуть бути описані операторним рівнянням вигляду:

$$Y_i^e = G_i^e(D) X_i^e = G_i^e(D,\, X_i^e), \quad (5)$$

або диференційними рівняннями в операторній формі запису відповідно:

$$A_i(D) Y_i = B_i(D) X_i^e. \quad (6)$$

$$F_i^e(Y_i^e,\, X_i^e,\, D) = 0, \;\; D = d/dt, \quad (7)$$

або системою диференційних рівнянь «вхід-вихід-стан» (нормальна форма) у лінійному випадку:

$$\dot{X}_i = AX_i + BX_i^e; \quad Y_i^e = CX_i + DX_i^e, \quad (8)$$

де X_i – вектор стану;

A, B, C, D – матриці коефіцієнтів.

У нелінійному випадку рівняння «стану-виходу» будуть мати вигляд:

$$\dot{X}_i = F_{ix}(X_i,\, X_i^e); \quad Y_i^e = F_{iy}(X_i,\, X_i^e). \quad (9)$$

Відзначимо, що елементи, в свою чергу, як у нас це вузли, мають свою внутрішню структуру, бо складаються з дрібних деталей [1]. Як видно з нашого тексту, форми представлення зводяться один до одного, проте для зручності користування ми перетворюємо їх так, щоб вибрати одну із залежностей задачі дослідження. Так, нормальна форма запису рівняння «вхід-вихід-стан» зручна у програмуванні на комп'ютерах та комп'ютерних мережах.

Множина вхідних змінних елементів утворює вектор входу:

$$X_e = \{X^e_i, X_2, \ldots, X^e_i, \ldots, X^e_N\}. \quad (10)$$

Множина вихідних змінних елементів утворює вектор виходу:

$$Y_e = \{Y^e_1, Y_2, \ldots, Y^e_i, \ldots, Y^e_N\}. \quad (11)$$

Сукупність елементів опишемо залежністю, в основі якої лежить поведінка i-го елемента (5):

$$Y_e = G_e(D)\, X_e, \quad (12)$$

де $G_e(D)$ – квадратна діагональна матриця сукупності елементів розмірності NXN:

$$G_e(D) = \begin{pmatrix} G_i^e(D)\ldots & & 0 \\ & G_i^e(D)\ldots & \\ 0 & & G_N^e(D) \end{pmatrix}, \quad (13)$$

у нелінійному випадку прийме вигляд:

$$Y_e = G_e(D,\, X_e), \quad (14)$$

де

$$G_e(D,\, X_c) = \begin{bmatrix} G_1^e(D,\, X_1^e) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ G_i^e(D,\, X_i^e) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ G_N^e(D,\, X_N^e) \end{bmatrix}, \quad (15)$$

або сукупність систем рівнянь у формі «вхід-вихід-стан» для лінійних елементів:

$$\dot{X}_i = AX_i + BX_i^e; \quad Y_i^e = CX_i + DX_i^e, \ \ i = 1, 2, ..., N, \tag{16}$$

Для нелінійних елементів:

$$X_i = F_{ix}\left(X_i, X_i^e\right); \ Y_i^e = F_{iy}\left(X_i, X_i^e\right), \ \ i = 1, 2, ..., N. \tag{17}$$

Таким чином, формальний опис сукупності елементів заключається в описі всієї множини елементів. Розповсюдимо тепер цей опис на відповідні рівні представлення системи. Так, вирази (2), (3), (4) характеризують елементи першого рівня представлення системи, яка не підлягає подальшому розділенню.

Другий рівень представлення елементів будемо зображати (розмірність N_{II}) наступним чином:

$$G_e = \begin{pmatrix} Q_{II}^e \cdots & & 0 \\ & Q_{ii}^e \cdots & \\ 0 & & Q_{N_{II} N_{II}} \end{pmatrix}, \quad Q_{ii} = \begin{pmatrix} G_{II}^e \cdots & & 0 \\ & G_{ii}^e \cdots & \\ 0 & & G_{N_1 N_1}^e \end{pmatrix}. \tag{18}$$

Третій рівень може бути представлений аналогічно (18), зі своїми відповідними індексами.

Виходячи з викладеного, ми закінчили формування, дворівневої логіко-динамічної системи вібраційних вузлів сільськогосподарських машин.

Як було зазначено раніше, займемося другою частиною нашої публікації – дослідженням функціонування моделей зв’язку гідравлічних, пневматичних, механічних ланок зв’язку вузлів зазначених машин.

Опишемо з’єднання вузлів та сформуємо матриці зв’язку. Припустимо, що вузли (елементи) діють один на одного тільки через свої «входи» та «виходи», тобто один елемент сприймає через свої «входи» стан усіх або деяких «виходів» іншого елемента [3]. Іншими словами, «вихід» одного елемента стає «входом» наступного елемента:

$$x^e{}_i = y^e{}_i\,, \tag{19}$$

де $x^e{}_i$ – вхід елемента E_i;

$y^e{}_i$ – вихід елемента E_j.

Перетворення «виходу» елемента E_j у «вхід» елемента E_i назвемо зв’язком елемента E_j із E_i та назвемо цей зв'язок через S_{ij} [3].

Для елементів нижнього рівня зі скалярними входами і виходами змінний зв'язок запишемо у вигляді:

$$S_{ij} = S_{xy}(x^e{}_i\, y^e{}_i), \tag{20}$$

який буде представлений, як двохзначний:

$$S_{ji} = \begin{cases} 1, \ \textit{при} \ \ x_i^e = y_j^e \\ 0, \ \textit{при} \ \ x_i^e \neq y_j^e \end{cases}. \tag{21}$$

Зв'язок (21) приймає значення одиниця, коли зв'язок між елементами існує та нуль – у протилежному випадку. Разом з тим функція зв’язку S_{ij} інколи визначається як трьохзначна, яка приймає значення множини{-1; 0; +1}. У цьому випадку, як бачимо, враховується також знак зв’язку.

Ввівши визначену функцію зв’язку сформулюємо формальну операцію зв’язування елементів.

Тоді система рівнянь (19) приймає наступний вигляд:

$$\left.\begin{aligned} x_i^e &= y_i^e, \quad при \quad S_{ij} = 1 \\ x_i^e &= 0, \quad при \quad S_{ij} = 0 \end{aligned}\right\}, \tag{22}$$

або

$$x_i^e = S_{ij} y_i^e. \tag{23}$$

Зауважимо, що зміна зв'язків між елементами у процесі функціонування системи може бути нав'язана системі ззовні, або викликана зміною параметрів самої системи. Тоді функція зв'язку визначається і вигляді:

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, & при \ Q = Q_1 \\ 0, & при \ Q = Q_2 \end{cases}, \tag{24}$$

де Q_1, Q_2 – деякі умови функціонування системи.

Для випадку, коли «входи» і «виходи» елементів системи являються векторними величинами, рівняння зв'язку одного вектора з іншим запишемо так:

$$X_i = S_{XY} \cdot Y_j, \tag{25}$$

де $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \ldots, X_{in})$ – вектори входу i-го елемента;

$Y_j = (Y_{j1}, Y_{j2}, \ldots, Y_{jm})$ – вектори виходу j-го елемента;

S_{XY} – матриця зв'язків, що у загальному випадку має такий вигляд:

$$S_{XY} = \begin{bmatrix} S_{1i} \ldots S_{1j} \ldots S_{1m} \\ S_{i1} \ldots S_{ij} \ldots S_{im} \\ S_{n1} \ldots S_{nj} \ldots S_{nm} \end{bmatrix}, \tag{26}$$

$S_{1i}, \ldots, S_{nm}$ – дискретні змінні, що описані вище, а індекси при елементах вказують, яка складова вектора X пов'язана з відповідною складовою вектора Y. В частковості, індекси при елементні S_{ij} вказують, що X_i пов'язанні з Y_i за допомогою зв'язку з S_{ij}, тобто:

$$x_i = S_{ij} y_{ij}. \tag{27}$$

У розгорнутому вигляді рівняння зв'язку двох векторів буде таким:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_i \\ X_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_n \ldots & S_{ij} \ldots & S_{im} \ldots \\ S_i \ldots & S_{ij} \ldots & S_{im} \ldots \\ S_{n1} \ldots & S_{nj} \ldots & S_{nm} \ldots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_i \\ Y_m \end{bmatrix}. \tag{28}$$

Отримавши результат (28) припустимо, що «вхідні» та «вихідні» вектори можуть мати однакову розмірність, тобто:

$$æ = \{X_1, X_2, \ldots X_s, \ldots X_N\}, \tag{29}$$

$$\varphi = \{Y_1, Y_2, \ldots Y_r, \ldots Y_n\}, \tag{30}$$

де X_s та Y_r – теж вектори.

При складанні матриці зв'язку використовуємо ті ж правила, що були раніше.

1. Кожний елемент матриці представляє собою функцію, що приймає значення +1 (або -1), якщо зв'язок між відповідними елементами межує, та нуль – у протилежному випадку.

2. Номера індексів при елементі S_{ij} матриці повинні вказувати відповідно перший – на який елемент існує вплив, другий від якого елемента вплив починається, як наслідок цього, під діагоналлю записуємо прямі зв'язки у системі, над діагоналлю – зворотні, на діагоналі – особисті.

3. Матриця зв'язку системи представляє собою матрицю сукупності відношень між

елементами системи. Складність понять “елемент системи” та “сукупність відношень між елементами” залежить від рівня представлення системи. Та взагалі, кожній матриці сукупності відношень може бути матрицею зв’язку, кожний елемент якої, у свою чергу може бути матрицею зв’язку підсистеми. Тоді матриці S_φ S_{sr} будуть виглядати так:

$$S_{ae}\varphi = \begin{bmatrix} S_{11} \ldots S_{1r} \ldots S_{1n} \\ S_{s1} \ldots S_{sr} \ldots S_{sn} \\ S_{n1} \ldots S_{nr} \ldots S_{nn} \end{bmatrix}, \quad SS_{sr} = \begin{bmatrix} S_{11} \ldots S_{ij} \ldots S_{im} \\ S_{i1} \ldots S_{ij} \ldots S_{im} \\ S_{n1} \ldots S_{nj} \ldots S_{nm} \end{bmatrix}. \tag{31}$$

Фактично побудову структур та аналітичних матриць зв’язку дворівневої системи ми закінчили.

Продемонструємо розроблену методику на контрольному прикладі.

Контрольний приклад. Припустимо, що система складається з двох лінійних динамічних елементів, які з’єднані послідовно з одновимірними «входами» та «виходами» $x^e{}_1$, $y^e{}_1$ та $x^e{}_2$, $y^e{}_2$. Опис їх виразів має вигляд:

$$Y_1^e = \frac{K_1}{T_1 D + 1} X_1^e; \qquad Y_2^e = \frac{K_2}{T_2 D + 1} X_2^e. \tag{32}$$

Причому «вхід» системи є «вхід» першого елемента, «виходом» – «вихід» другого елемента.

У відповідності з розробленою нами методикою опис проведемо у такій послідовні:

1) Складемо матрицю перетворень сукупності елементів:

$$Ge(D) = \begin{bmatrix} G_1(D) & 0 \\ 0 & G_1(D) \end{bmatrix}; \tag{33}$$

2) Опишемо вектори:

$Y_c = (y^c{}_1, y^c{}_2)$ – виходи систем;

$Y_e = (y^e{}_1, y^e{}_2)$ – виходи сукупності елементів;

$X_c = (x^e{}_1, x^e{}_2)$ – входи сукупності елементів;

$X_c = (x^c{}_1, x^c{}_2)$ – входи системи елементів;

3) Побудуємо матриці зв’язків у системі розмірності (2х2), оскільки система має 2 елементи, точніше:

$$S_{ec} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad S_{ec} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}. \tag{34}$$

$$S_{ec} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad S_{ec} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}. \tag{35}$$

Тоді рівняння «вхід-вихід» системи прийме вигляд:

$$\begin{pmatrix} y_1^c \\ y_2^c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \left[\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} G_1(D) & 0 \\ 0 & G_2(D) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \right]^{-1} \times \begin{pmatrix} G_1(D) & 0 \\ 0 & G_2(D) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1^c \\ x_2^c \end{pmatrix}. \tag{36}$$

Після виконання усіх перетворень отримаємо :

$$y^c{}_1 = G_1(D)\, G_2(D)\, x^c{}_1. \tag{37}$$

Отриманий результат достатньо прозорий.

Висновки

Запропоновані логіко-динамічні дворівневі структури та розроблені матричні моделі зв'язків прикладної задачі управління роботи вібраційних вузлів сільськогосподарських машин. Розроблена методика формалізованого дослідження функціонування багатоетапних процесів. Новизна розробленої методики характеризується автоматичним рішенням задач уточнення початку і кінця етапів досліджуваного процесу.

Список літератури

1. *Іскович-Лотоцький Р.Д. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій: Монографія. / Р.Д. Іскович-Лотоцький, Р.Р. Обертюх, І.В. Севостьянов. – Вінниця.: Універсум – Вінниця, 20.*
2. *Іскович-Лотоцький Р.Д. Вібраційні та віброударні пристрої для розвантаження транспортних засобів: Монографія. / Р.Д. Іскович-Лотоцький, Я.В. Іванчук. – Вінниця.: ВНТУ, 2012. – 156 с.*
3. *Жук К.Д. Исследование структур и моделирование логико-динамических систем: Монографія. / К.Д. Жук, А.А. Тимченко, Т.И. Доленко. – Киев.: "Наукова думка", 1975. – 199 с.*
4. *Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів. / А.А.Тимченко. – К.: Либідь, 2004.-288с. – (Основи системного підходу та системного аналізу об'єктів нової техніки: Навч. посібник за ред. Ю.Г. Леги).*

Spisok literatury

1 . Iskovich - Lototsʹkyy̆ R.D. Protsesy ta mashyny vibratsiy̆nikh y vibroudarnikh tekhnolohyy̆ : Monohrafiya. / R.D. Iskovich - Lototsʹkyy̆ , R.R. Obertyukh , I.V. Sevostʹyanov . - Vinnytsya . : Universum - Vinnytsya , 20 .

2 . Iskovich - Lototsʹkyy̆ R.D. Vibratsiy̆ni ta vibroudarni Prystroï dlya rozvantazhennya transportnykh ZASOBIV : Monohrafiya. / R.D. Iskovich - Lototsʹkyy̆ , YA.V. Ivanchuk . - Vinnytsya . : VNTU , 2012. - 156 s.

3 . Zhuk K.D. Doslidzhennya struktur ta modelyuvannya lohiko - dynamichnykh system : Monohrafiya. / K.D. Zhuk , A.A. Tymchenko , T.I. Dolenko . - Kyïv. : "Naukova dumka" , 1975 . - 199 s.

4 . Tymchenko A.A. Osnovy systemnoho proektuvannya ta systemnoho analizu skladanyy̆ ob'yektiv. / A.A.Timchenko . - K. : Lybidʹ , 2004.- 288s. - (Osnovy systemnoho pidkhodu ta systemnoho analizu ob'yektiv Novoï tekhniky : Navch. Posibnyk za red. YU.H. Lehy) .

ЛОГИКО-ДИНАМИЧЕСКИЕ ДВУХУРОВНЕВЫЕ СТРУКТУРЫ И МАТРИЧНЫЕ МОДЕЛИ СВЯЗЕЙ ВИБРАЦИОННЫХ УЗЛОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Аннотация: *предложенные логико-динамические двухуровневые структуры и разработаны матричные модели связей вибрационных узлов сельскохозяйственных машин. Структуры и формализованные модели связей реализуются как многоэтапные процессы. Формально описано совокупность элементов, которая заключается в обосновании всего множества элементов. Приведены составляющие элементы, образующие реальный промышленный специальный вибропресс. Продемонстрировано разработанную методику на контрольном примере.Новизна подхода характеризует автоматическое решение задачи уточнения начала и конца этапов исследуемого процесса.*

Ключевые слова: *двухуровневая структура, логико-динамическая модель, вибрационные узлы, сельскохозяйственные машины.*

LOGIC-DYNAMIC TWO-TIER STRUCTURE AND MATRIX MODELS RELATIONS VIBRATION UNITS OF AGRICULTURAL MACHINERY

Summari*: the proposed logic-dynamic two-level structures and the development of matrix models connections vibrating units of agricultural machinery. Structure and formalized communication model are realized as a multistep process. Formally describes a set of elements, which lies in the rationale of the whole set of items. Shows the components that make up a real industrial special vibropresses. The developed method is demonstrated in the test case. The novelty of the approach is characterized by automatic solution clarify the beginning and end stages of the process.*

Keywords: *two-tier structure, logic-dynamic model, vibration components, agricultural machinery.*