

УДК 658.512.4.01

І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв, Є.А. Разумов-Фризюк, А.О. Функендорф

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## МОДЕЛІ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ РОБОТІВ З МОДУЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ

У статті приведено розроблені параметрична модель та граф, що дозволяють приводити найбільш повний опис структурних функціональних модулів роботів, з урахування зв'язків та принципів узгодженості між ними, що можуть бути відображені певними обмеженнями, які виникають у випадках приналежності певних параметрів елементам конструкції, що проектується.

**Ключові слова:** робот, модульна структура, автоматизоване проектування конструкції, параметрична модель, граф.

### Вступ

В умовах сучасної глобалізації автоматизованих виробництв роботів різноманітного призначення, які знаходять застосування у великої кількості галузей життя людини, все більшої актуальності набувають модульні підходи до структуризації їх конструкцій, що забезпечено економічними факторами, підвищенням загальної ефективності, надійності та ремонтпридатності готових виробів [1].

В рамках зазначених підходів робот представляє собою цілісну систему, що складається з різноманітних елементів, а саме структурних функціональних модулів, а саме – модуля переміщення, сенсорного модуля, маніпуляційного модуля, корпусного модуля, інформаційно-керуючого модуля та модуля зв'язку з людиною, узгоджених між собою. Кожен з таких модулів має різноманітні варіації технічної реалізації, виступає у ролі закінченого складального вузла та має велику кількість різноманітних параметрів, що на пряму впливають на загальні характеристики готового робота [2].

Сучасні системи автоматизованого проектування не дозволяють реалізувати прийняття рішень о виборі складових елементів, в рамках проектування роботів з конструкцією модульного типу у автоматизованому режимі з урахуванням їх узгодженості у цілісній системі [3]. Саме тому виникає складне наукове завдання, що потребує найбільш повної формалізації функціональних складових модулів, яке може бути вирішено шляхом розробки нових параметричних та математичних моделей та побудови відповідних графів з урахуванням узгодженості між елементами на всіх етапах проектування конструкції.

### Основна частина

Кожному з наведених складових модулів притаманні параметри різноманітного типу, відповідно

до яких було прийняте рішення про розгалуження параметрів.

Параметрична модель кожного з модулів реалізована за допомогою багаторівневого графу типу «дерево», що дозволяє наглядно відобразити не тільки розгалуження шляхом «гілок», а також ієрархічні зв'язки між параметрами.

Таким чином верхній рівень графу поділяється на окрему гілку загальних параметрів, в той чи іншій мірі притаманних кожному з модулів, гілку специфічних параметрів, притаманних конкретному модулю, та гілку параметрів з'єднань, у якій відображені всі притаманні відповідному модулю роз'ємні типи з'єднань, що є характерними для модульних конструкцій приладів.

Кожна з наведених гілок поділяється на інші гілки параметрів, відповідно до більш нижчих рівнів графу. Найнижчі рівні гілок представлені кінцевими множинами можливих значень конкретних параметрів.

У випадку, коли один із параметрів є відсутнім у модуля, допускається запис  $P = \emptyset$ , та параметр прийнято вважати незначним в рамках конкретного випадку подальшої побудови математичної моделі прийняття рішень.

Математичне зображення параметричної моделі конструкції роботів, з точки зору розглядання їх як цілісної системи, представляє собою множини параметрів кожного з модулів, з урахуванням взаємозв'язків між ними [4, 5]:

$$M_{\text{par}} = \langle \{P, S, M, K, Iy, Sv\}, R \rangle, \quad (1)$$

де  $P$  – множини параметрів модуля переміщення;

$S$  – множини параметрів сенсорного модуля;

$M$  – множини параметрів маніпуляційного модуля;

$K$  – множини параметрів корпусного модуля;

$Iy$  – множини параметрів інформаційно-керуючого модуля;

$S_v$  – множини параметрів модуля зв'язку з людиною;

$R$  – множини параметрів відносин між параметрами модулів.

Відносин між параметрами модулів за своєю суттю є обмеженнями, що накладаються на деякі параметри у випадках приналежності інших відповідних параметрів.

Однією з гілок графу параметрів, що мають відносні обмеження як між собою, в рамках заданого типу, так і впливають на інші типи та навіть параметри інших модулів, є гілка експлуатаційних параметрів (рис. 1) – того класу параметрів, що безпосередньо впливають на надійність, безвідмовність та, в подальшому, на рівень ремонтпридатності пристроїв. Вона являє собою нижні рівні графу в рамках гілки загальних параметрів і, як вже зазначалося, притаманна кожному зі структурних модулів.

Особливо важливими ці множини параметрів є для дослідницьких, будівельних та воєнних робіт, що обумовлено різноманітними та часом критичними умовами зовнішнього середовища в рамках їх експлуатації.

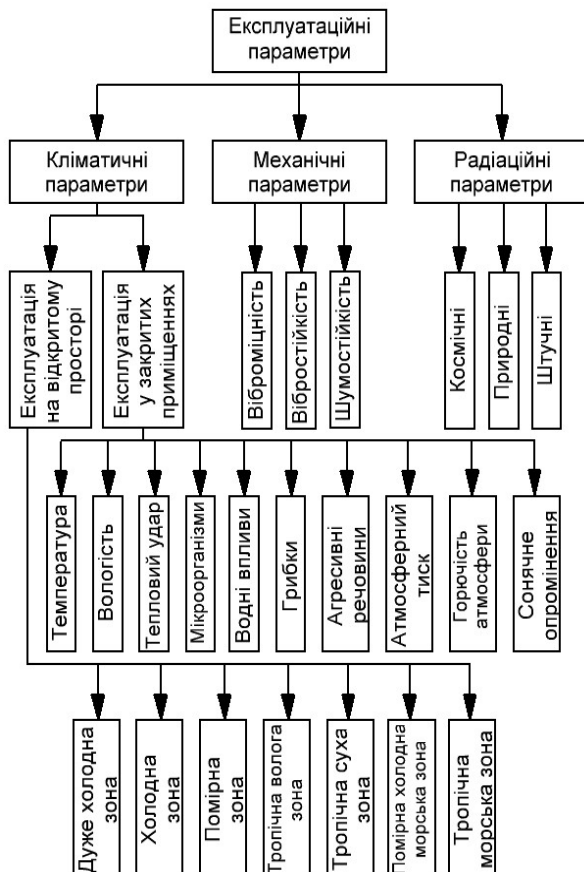


Рис. 1. Гілка експлуатаційних параметрів

Узагальнена параметрична модель цієї гілки, з урахування обмежень, заданих наявністю розрізних параметрів експлуатації у закритих приміщеннях чи на відкритому просторі має вигляд:

$$P_{\text{exp}} =$$

$$= \left\langle \begin{array}{l} \{ \text{Mech} \supset \{ \text{VibS}, \text{VsbR}, \text{AcNR} \} \}, \\ \{ \text{Rad} \supset \{ \text{SpR}, \text{NatR}, \text{ArtR} \} \}, \quad \{ \text{EncS} \supset \\ \supset \{ T, H, HS, MO, WF, CS, Pr, A, FA, SR \} \} \vee \\ \vee \{ \text{OpS} \supset \{ Zwc, Zc, Zm, Ztw, Ztd, Zcs, Zts \} \} \end{array} \right\rangle, \quad (2)$$

де  $\text{Mech}$  – множина механічних експлуатаційних параметрів, до якої входять підмножини значень параметрів віброміцності ( $\text{VibS}$ ), вібростійкості ( $\text{VsbR}$ ) та шумостійкості ( $\text{AcNR}$ );

$\text{Rad}$  – множина радіаційних експлуатаційних параметрів, до якої входять підмножини значень параметрів космічної ( $\text{SpR}$ ), природної ( $\text{NatR}$ ) та штучної ( $\text{ArtR}$ ) радіації;

$\text{EncS}$  – множина параметрів, що відповідає експлуатації у закритих приміщеннях, а саме підмножини значень температури ( $T$ ) та вологості ( $H$ ) повітря, теплового удару ( $HS$ ), атмосферного тиску ( $A$ ), горючості атмосфери ( $FA$ ), сонячного опромінення ( $SR$ ) та булеві елементи, що свідчать про наявність мікроорганізмів ( $MO$ ), грибків ( $CS$ ), агресивних речовин ( $Pr$ ) та водних впливів ( $WF$ );

$\text{OpS}$  – множина параметрів, що відповідає експлуатації на відкритому просторі, а саме підмножини значень параметрів кліматичних зон – дуже холодної зони ( $Zwc$ ), холодної зони ( $Zc$ ), помірної зони ( $Zm$ ), тропічної вологої зони ( $Ztw$ ), тропічної сухої зони ( $Ztd$ ), помірної холодної морської зони ( $Zcs$ ) та тропічної морської зони ( $Zts$ ).

Як видно з виразу (2) експлуатаційні параметри конкретного модулю можуть включати лише множини параметрів відповідні до експлуатації у закритих приміщеннях, чи тільки на відкритому просторі, тобто належність однієї з вказаних множин виключає можливість належності іншій:

$$\exists (\text{EncS}, \text{OpS}), \forall \text{EncS} : \text{EncS} = \emptyset. \quad (3)$$

Розподіл та відокремлення підмножин параметрів експлуатації у закритих приміщеннях, чи на відкритому просторі обумовлено можливістю виникнення ситуацій, у яких значення окремих конкретних кліматичних параметрів може бути нехарактерним для відповідної кліматичної зони.

Аналогічним чином при наявності однієї чи декількох кліматичних зон виключає можливість наявності інших:

$$\begin{aligned} &\exists (Zwc, Zc, Zm, Ztw, Ztd, Zcs, Zts), \\ &\forall Zwc, Zc : \{ Zm, Ztw, Ztd, Zcs, Zt \} = \emptyset. \end{aligned} \quad (4)$$

Кожна із підмножин параметрів кліматичних зон включає в себе діапазони значень множин параметрів, відповідних до підмножин, характерних для

експлуатації у закритих приміщеннях, але відповідно до конкретної кліматичної зони.

В узагальненому вигляді це можливо представити наступним виразом:

$$Z_i \supset \left\{ T_i, H_i, HS_i, MO_i, WF_i, \right. \\ \left. CS_i, P_i, A_i, FA_i, SR_i \right\}, \quad (5)$$

де  $i$  вказує на відповідність множин параметрів до конкретної кліматичної зони.

Випадки виникнення міжмодульних обмежень параметрів можливо відобразити належністю булевого параметру гілки будь-якого з наведених структурних функціональних модулів – параметру водного впливу.

Наявність цього параметру у гілці будь-якого модулю зобов'язує наявність булевого параметру вологозахищеності у гілці параметрів корпусного модулю:

$$\exists (M_{\text{par}}, K, WF, WP), \\ \forall M_{\text{par}} \supset WF = 1 : K \supset WP, \quad (5)$$

де  $WP$  – булевий параметр вологозахищеності.

## Висновки

Приведений підхід до формалізації структурних функціональних модулів, що входять до складу сучасних роботів різноманітного призначення, є уніфікованим та дозволяє реалізувати найбільш повний та інформативний опис параметрів кожного з модулів.

В роботі представлені вперше розроблені багаторівневий граф типу «дерево» та відповідна параметрична модель, за допомогою яких було реалізовано зазначений підхід.

Узгодженість взаємозв'язки між складовими елементами у цілісній структурі пристрою реалізована за допомогою введення гілки параметрів з'єднань у загальну структуру графа та математичного опису параметрів узгодженості.

Введена гілка відображає параметри можливих роз'ємних з'єднань кожного з модулів, що є характерним для пристроїв з модульною структурою внаслідок спрощення процесу ремонту та дотримання відповідного рівня взаємозамінності структурних елементів готового виробу. Відносини між модулями описані за допомогою обмежень, що накладаються на деякі параметри у випадках приналежності інших відповідних параметрів.

На основі отриманих результатів стає можливою розробка багатокритеріальної моделі прийняття рішень о виборі структурних функціональних модулів з урахуванням їх узгодженості в цілісній системі, що в подальшому дозволить підвищення загального рівня автоматизації проектування роботів з конструкцією модульного типу.

## Список літератури

1. *Recent Advances in Robotic Systems [Text]* / Edited by Guanghui Wang. – P: InTech, 2016. – 292 p.
2. Функендорф, А.А. Структурный анализ современных робототехнических систем [Текст] / А.А. Функендорф, А.А. Кушлак, // 19 международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в 21 веке». Сб. материалов форума. Т.2. – Харьков: ХНУРЭ. 2015. – 209 с.
3. Groover, M. CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing [Text] / M. Groover. E. Zimmers – P: Pearson Technology Group, 2008. – 514 p.
4. Петров, Е.Г. Методи і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах [Текст]: Навч. посібник / За ред. Е.Г. Петрова. – К.: Техніка, 2004. – 256 с.
5. Овезгельдыев, А.О. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации [Текст] / А.О. Овезгельдыев, Э.Г. Петров, К.Э. Петров. – К.: Наукова думка, 2002. – 163 с.

Надійшла до редколегії 24.01.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## МОДЕЛИ ФОРМАЛИЗАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РОБОТОВ С МОДУЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

И.Ш. Невлюдов, В.В. Евсеев, Е.А. Разумов-Фризюк, А.А. Функендорф

*В статье приведены разработанные параметрическая модель и граф, позволяющие приводить наиболее полное описание структурных функциональных модулей роботов, с учетом связей и принципов согласованности между ними, которые могут быть отражены определенными ограничениями, которые возникают в случаях принадлежности определенных параметров элементам проектируемой конструкции.*

**Ключевые слова:** робот, модульная структура, автоматизированное проектирование конструкции, параметрическая модель, граф.

## FORMALIZATION MODELS FOR THE AUTOMATION ROBOT DESIGN PROBLEMS SOLVING OF CONSTRUCTIONS WITH THE MODULAR STRUCTURE

I.Sh. Nevliudov, V.V. Yevsieiev, Ye.A. Razumov-Fryziuk, A.O. Funkendorf

*In The parametric model and element of the graph allows the most complete description of the structural functional modules of robots with the relationships and the principles of consistency between them in an integrated system are developed in the article. It can be displayed by the limitation that occurs when certain parameters belong to structural elements..*

**Keywords:** robot, modular structure, automated design, parametric model, graph.