



КУЗНЕЦОВ Юрій Миколайович

д-р техн. наук, професор,
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПОЛЩУК Михайло Миколайович

д-р техн. наук, доцент,
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Україна

ГЕНЕТИЧНИЙ І СИСТЕМНО-МОРФОЛОГІЧНИЙ ПІДХОДИ ПРИ СТВОРЕННІ НОВОЇ РОБОТОТЕХНІКИ

Актуальність проблеми. Основна риса сучасності в умовах викликів четвертої промислової революції «Індустрія 4.0» – створення нової техніки і новітніх технологій в секторі засобів виробництва економічно розвиненої держави, де більше уваги приділяється автоматизації, роботизації, штучному інтелекту, екології, інтеграції науки, освіти, виробництва і сфері послуг¹.

Зараз вчених і мислителів турбує філософія майбутнього і навіть його конструювання, що вимагає створення несподіваних рішень на рівні винаходів і наукових відкриттів. Це можливо на основі використання системного підходу, застосування теорій еволюційного і генетичного синтезу стосовно складних технічних систем (ТС), що розвиваються в часі².

В основу створення складних систем закладено основний принцип генетики «Від простого до складного», тобто уявлення про елементарність, вчення про властивість елементарних структур, які виконують роль теоретичної основи для узагальнення і синтезу знань в сучасних фундаментальних науках. В даному випадку методичною основою виступає принцип існування обмеженої кількості елементарних (породжувальних) структур, що підтверджується дослідженнями в різних областях³, напри-

- 1 Кузнецов Ю. Н. Вызовы четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» перед учеными Украины // Вестник ХНТУ, №2 (61), 2017. С. 67–75.
- 2 Кузнецов Ю. Н. Эволюционный и генетический синтез технологического оборудования нового поколения // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. Харьков : НТУ «ХПИ», 2008. Вып. 85. С. 149–162; Кузнецов Ю., Шинкаренко В. Генетический подход – ключ к инновационному синтезу сложных технических систем. Журнал «Fundamental sciences and applications», т.16, Пловдив (Болгария), к.2, 2011. С. 15–33.
- 3 Шинкаренко В. Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем. К. : Наукова думка, 2002. 288 с. Кузнецов Ю. Н. Эволюционный и генетический синтез технологического оборудования нового поколения // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. Харьков : НТУ «ХПИ», 2008. Вып. 85. С. 149–162.

клад: всі живі організми утворені з 24-х хімічних елементів; вся кольорова гама утворена з 7-ми кольорів; всі музикальні твори написані з 7-ми нот; всі арабські числа складаються з 10-ти цифр; всі джерела електромагнітного поля містять 6 геометричних класів поверхонь, тощо.

В історії діяльності Людини важливу роль зіграла механіка – наука про закони руху тіл, що має відношення до всіх явищ Природи і творінням техніки, до всіх природничих наукових дисциплін. Відкриття нових ефектів і явищ, об'єктивно існуючих в Природі, дозволяє на багато років вперед прогнозувати і навіть передбачати розвиток науки і техніки, розв'язувати найскладніші проблеми, які стоять перед людством, серед котрих енергетичні, екологічні, сировинні, інформаційні та інші. По аналогії з біологічним і електромагнітним генами в основу механічного гена на генетичному рівні, як нащадкової інформації, створеної Природою, можуть бути покладені елементарні частинки у вигляді безрозмірної матеріальної точки⁴ – нерухомої для статичних ТС і рухомої під дією сили і (або) моменту для динамічних ТС.

Процес творчого мислення Людини, як психічний процес відображення об'єктивної реальності (вищий ступінь людського пізнання), пов'язаний з великою кількістю перешкод, оскільки проблема мислення не може мати однозначного тлумачення і охоплює широкий діапазон дій лівої і правої півкуль людського мозку від альтернативно-логічного до інтуїтивно-практичного мислення в їх взаємодії або схрещуванні, що умовно можна віднести до гібридного мислення⁵.

На горизонті починає проглядатися нова промислова революція «Індустрія 5.0», яка якісно відрізняється від чотирьох попередніх розвитком людиноцентриських технологій, спрямованих на підсилення фізичних можливостей Людини, його творчого і інтелектуального потенціалу, підвищення якості, продовження життя⁶. З'явилася нова концепція: **майбутнє технологій – це не технології, що заміщують Людину, а технології, що доповнюють Людину.**

Генетичний підхід. З використанням теорії еволюції робототехнічні системи можна змодельовувати по генетичному принципу: «Від простого до складного» на різних рівнях складності з наросуванням генетичної інформації (рис.1)⁷.

4 Кузнецов Ю. Н. Новый взгляд на материальную точку как носителя генетической информации при создании технических систем //Материалы Международной научно-практической конференции «Фундаментальные основы механики», Новокузнецк: НИЦ МС, 2016. №1. С. 26–40.

5 Кузнецов Ю. М. Людське мислення і штучний інтелект на прикладі синтезу затискних цангових патронів //6-я між. науч.-практ. конф. «Информационные технологии и взаимодействия». КНУ им. Т. Г. Шевченко, 2019. С. 236–245.

6 Там само.

7 Междисциплинарный подход к моделированию и созданию сложных электромеханических систем на примере мотор-шпинделя /Шинкаренко В. Ф., Кузнецов Ю. Н. // Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Сучасні технології промислового комплексу». Херсон, ХНТУ, 2015. С. 8–13; Шинкаренко В. Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем. К.: Наукова думка, 2002. 288 с.

Графічне зображення силових потоків в ЗП наведено на рис. 2.

Для маніпулювання з крихкими, м'якими, нежорсткими і скляними об'єктами доцільно використовувати захватні пристрої (ЗП) не механічні з твердотільними перетворювачами (MSB), а рідинотекучі, в'язкі (LFM), повітряні (AVM) середовища (рис. 3) і електромагнітні поля (рис.4).

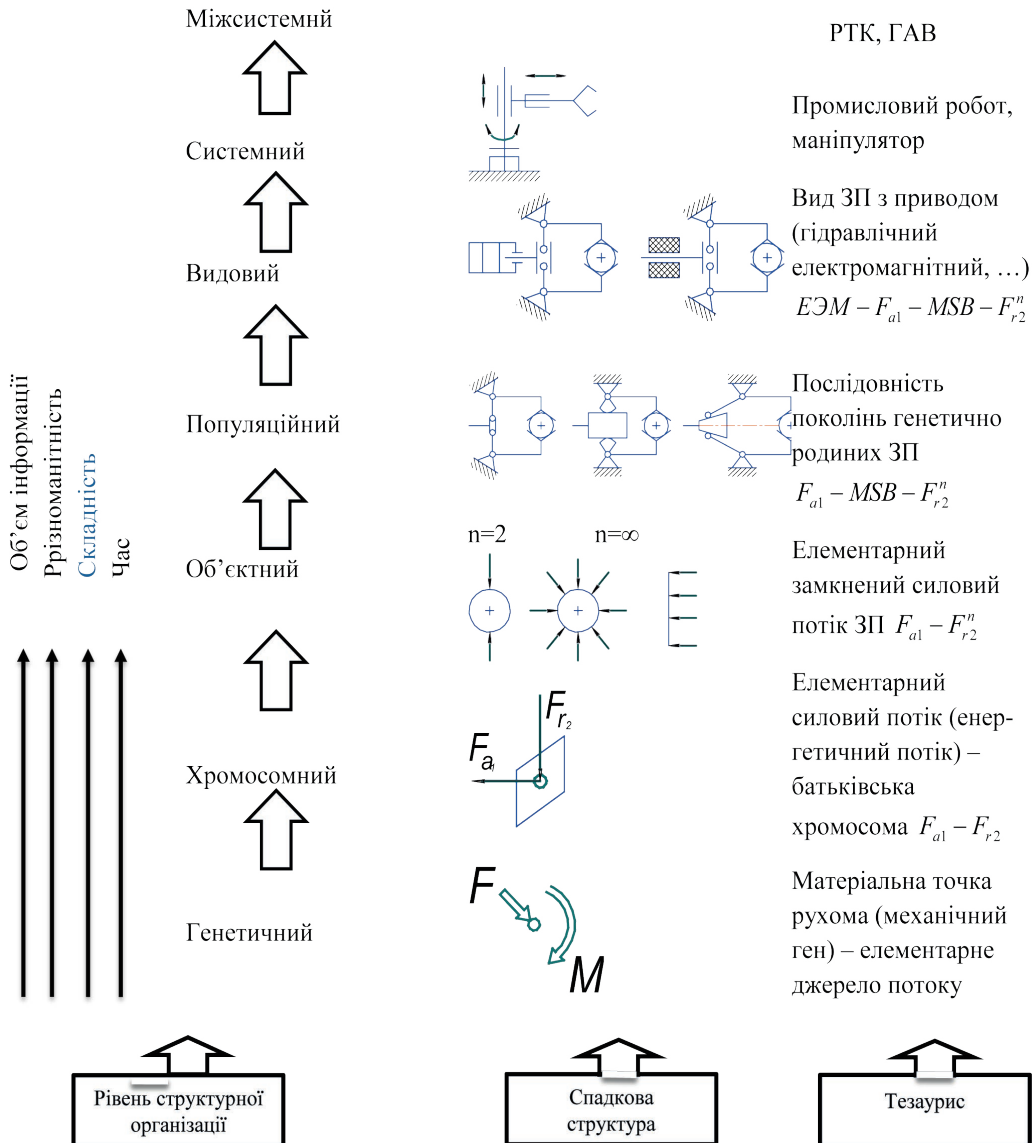


Рис. 1. Генетична модель структурної організації й еволюції складних робототехнічних систем і комплексів в гнучкому автоматизованому виробництві

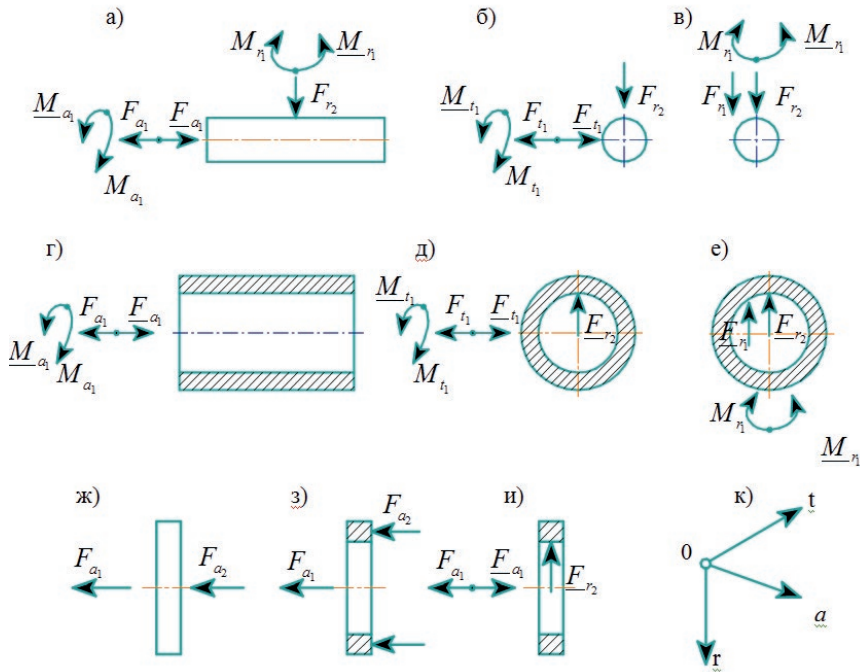


Рис.2. Варіанти можливих силових потоків в ЗП для маніпулювання суцільними циліндричними (а-в) і пустопорожніми циліндричними (з-е) деталями, суцільними дисками (ж) і кільцями (з-и) в циліндричній системі координат art (к)

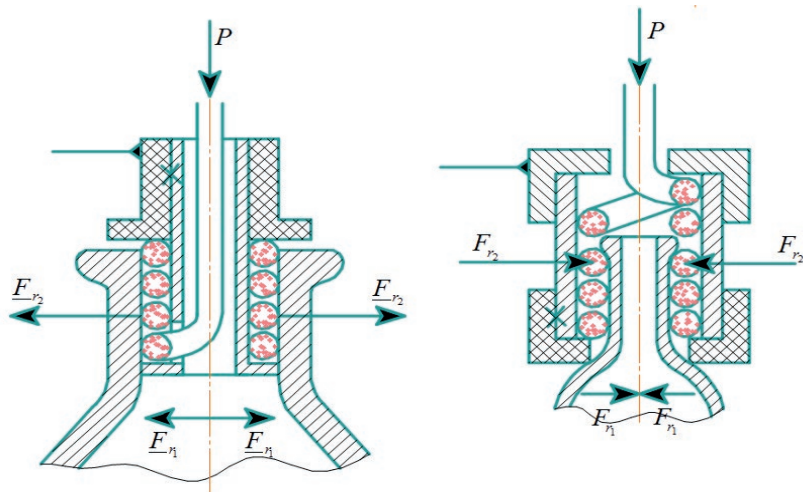


Рис. 3. Принципові схеми ЗП для крихких і нежорстких об'єктів і відповідні ним силових потоків:

$$а, б) \underline{F}_{a_1} - \underline{F}_{r_2}; \quad в) \underline{F}_{a_1} - \underline{F}_{r_2}; \quad г) \underline{F}_{r_1} - \underline{F}_{r_2}; \quad д) \underline{F}_{r_1} - \underline{F}_{r_2}$$

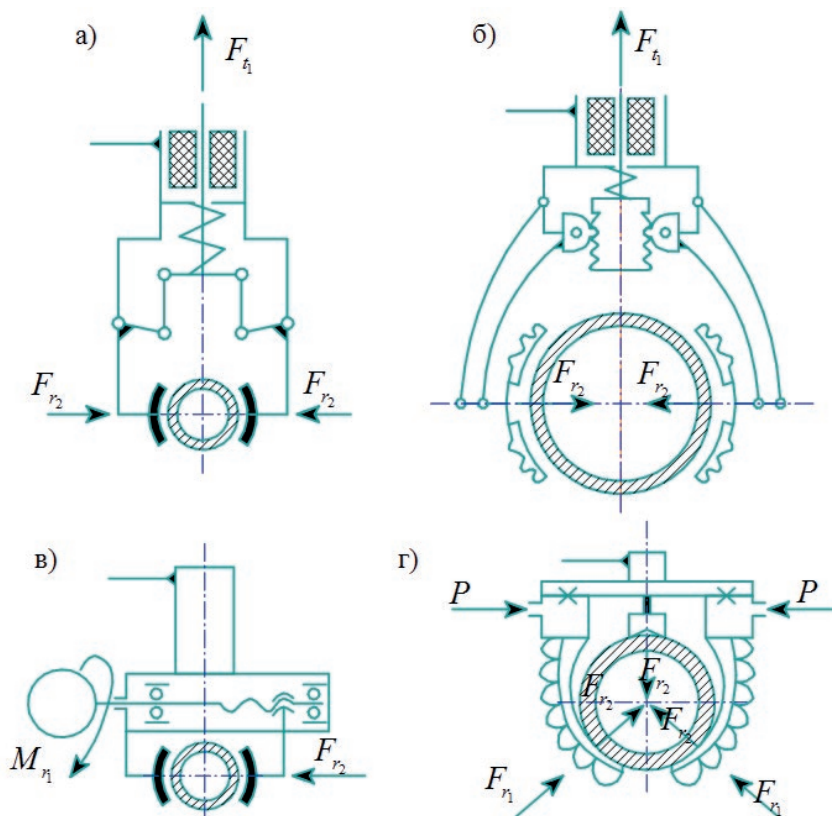


Рис. 4. Принципові схеми ЗП для жорстких, крихких, нежорстких об'єктів і відповідні ним батьківські хромосоми:

$$a, б) F_{t_1} - \underline{F_{r_2}}; в) M_{r_1} - F_{r_2}; г) F_{r_1} - F_{r_2}$$

Системно-морфологічний підхід. Серед методологічних підходів віддано перевагу методам структурно-параметричного синтезу на основі морфологічного аналізу⁸ для прогнозування і блокування масиву винаходів), побудові квазістатичних і динамічних моделей, координатної оптимізації, спрямованої на одержання квазіоптимальних технічних розв'язків, а також удосконаленого методу оптимізації параметрів багаторівневих ієрархічних систем⁹. Склад морфологічних ознак продиктований ще й наступною методологічною послідовністю синтезу: морфологічний аналіз → структурний → і параметричний синтез.

8 Поліщук М. М., Кузнецов Ю. М. Морфологічний аналіз і параметричний синтез мобільних роботів довільної орієнтації. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Технічні науки. Том 30 (69) Ч.1, № 22019. С. 1–12.

9 Кузнецов Ю. Н. Эволюционный и генетический синтез технологического оборудования нового поколения // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. Харьков : НТУ «ХПИ», 2008. Вып. 85. С. 149–162.

Здійснений морфологічний аналіз (рис. 5) структур мобільних роботів довільної орієнтації (РДО) на рівні інтеграції є переконливим свідченням реалізації декларованих вище принципів керування синтезом мобільних роботів як класу робототехнічних систем¹⁰.

Застосовані критерії відбору варіантів морфологічних структур, по-перше, на основі трьох принципів синтезу мобільних РДО, указує напрямок удосконалювання конструкцій мобільних роботів довільної орієнтації, по-друге, селекція варіантів у вигляді патентованих технічних розв'язків підтверджує відповідність обраних структур сучасному рівню матеріалів і технологій для їхнього виготовлення, що є неодмінною вимогою патентного відомства будь-якої країни.

Запропоновано модифікацію методу параметричного синтезу багаторівневої технічної системи РДО. Відзнака запропонованої модифікації методу параметричного синтезу полягає в тому, що при запису цільових функцій кожного рівня системи критерій оптимальності попереднього рівня входить у цільову функцію наступного рівня у вигляді змінної або константи.

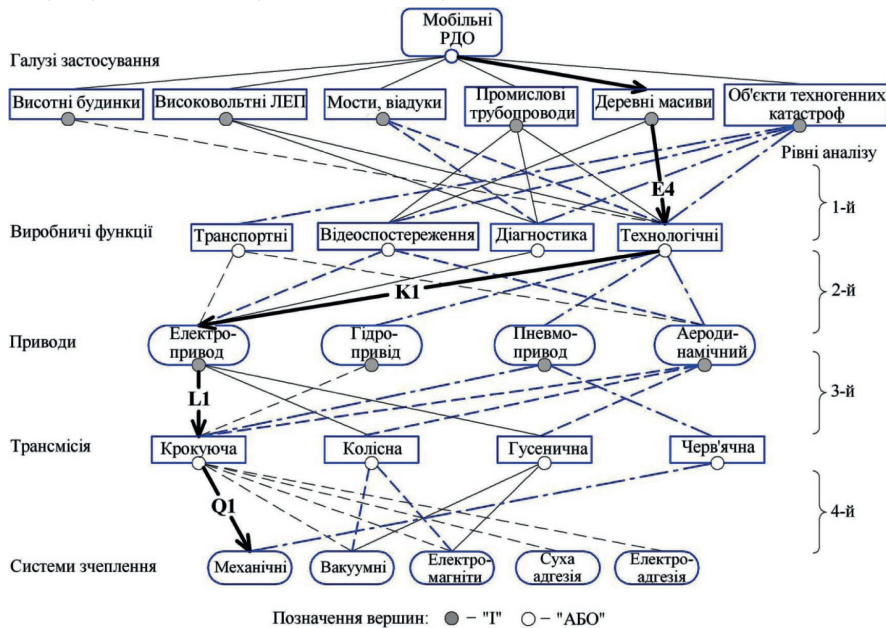


Рис. 5. Модифікований морфологічний граф структур мобільних РДО

¹⁰ Кузнецов Ю. Н., Полищук М. Н. Области перспективного применения роботов произвольной ориентации в пространстве. Вісник Херсонського Національного технічного університету. 2018. № 4(67). С. 63–69. Кузнецов Ю. М., Полищук М. М. Мобільні роботи для плодощовечих господарств. Науковий журнал «Техніка та енергетика», 2019. Том 9, № 3. С. 59–64; Полищук М. Н., Баранова Д. К. Модуль САПР механіческих захватных устройств промышленных роботов. Адаптивні системи автоматичного управління. 2012. № 40. С. 87–93; Polishchuk M. N., Kuznetsov Yu. N. Mobile robots of arbitrary orientation: Design and modelling. "The Actual Problems of the World Today" / Collective monograph. London, 2019. P. 536–549; Полищук М. М. Мобільний робот для обслуговування паркових та лісних деревних масивів. Науково-практичний журнал «Екологічні науки». № 26, 2019. С. 132–137; Полищук М. М. Принципи синтезу мобільних роботів. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Технічні науки. 2018. Том 29 (68) № 5. С. 1–8.

У загальному виді для будь-якої технічної системи, розбитої на три рівні, в тому числі і мобільного РДО, викладене вище виглядає наступним чином. Цільова функція 1-го рівня у загальному вигляді:

$$F_1(\bar{X}_i) = f_1(\bar{X}_i) \rightarrow opt, \quad (1)$$

де $\bar{X}_i$ – змінні параметри 1-го рівня, тобто режими функціонування процесу або технічні параметри пристрою, що реалізує даний процес. Цільова функція 2-го рівня:

$$F_2(\bar{X}_2, \bar{f}_1) = f_2(\bar{X}_2, \bar{f}_1) \rightarrow opt, \quad (2)$$

де: $\bar{X}_2$ – змінні параметри 2-го рівня; $\bar{f}_1$ – критерій оптимальності попереднього, тобто 1-го рівня, який тепер використовується як змінний параметр на другому рівні системи. Цільова функція 3-го рівня:

$$F_3(\bar{X}_3, \bar{f}_2) = f_3(\bar{X}_3, \bar{f}_2) \rightarrow opt, \quad (3)$$

де: $\bar{X}_3$ – змінні параметри 3-го рівня; $\bar{f}_2$ – критерій оптимальності попереднього 2-го рівня, який використовується як змінний параметр на 3-му рівні системи.

Таким чином, формули (1), (2) і (3) зв'язують змінні параметри кожного рівня із критеріями оптимальності попереднього рівня технічної системи. Запропонована модифікація методу параметричного синтезу дозволяє погодити технічні параметри різних пристроїв, що входять у технічну систему, і знайти принаймні квазіоптимальні значення їх параметрів. Відмітність запропонованої модифікації проявляється у взаємному зв'язку між критеріями та параметрами, що характеризують кожний наступний рівень системи.

Для вирішення цієї задачі застосовано метод трансформації структури на основі цілеспрямованого вдосконалювання прототипів, тим більше, що цей метод припускає пошук не глобального, а локального екстремуму. У якості прикладу синтез мобільного РДО виконано на основі окремо обраної морфологічної структури. Припустимо, що згідно з технічним завданням потрібно здійснити параметричний синтез мобільного робота для обслуговування паркових деревних масивів. На основі методу морфологічного конструювання виконаємо синтез необхідної структури, а саме, послідовно рухаючись по ребрах графа рис. 2 створимо необхідну

структуру робота. Шукана структура виділена на морфологічному графові рис. 5 стовщеними лініями зі стрілками й позначеннями морфологічних ознак E4, K1 L1 і Q1 комбінацій, що відображають: деревні масиви → технологічні операції → електропривод → із крокуючою трансмісією й механічними захватами для зчеплення зі стовбуром дерева¹¹. Витягнута структура показана на рис. 6 з відображенням цільових функцій для оптимізації її параметрів.

Нехай, наприклад, згідно з технічним завданням мобільний робот 1 (рис. 6, а), оснащений крокуючою трансмісією 2 з електроприводами 3 (L1) і механічними Q1 захватами 4, повинен переміщатися по стовбуру дерева 5 у системі координат XYZ на величину ΔZ і виконувати технологічну операцію E4. І нехай остання полягає в тому, щоб дисковою фрезою 6 зрізати деревні нарости 7. Тоді, відповідно до обраної з морфологічного графа рис. 5 структури на рис. 6,б, оптимізації підлягають наступні параметри: режими технологічної операції – різання наростів; характеристики електропривода із крокуючою трансмісією й конструктивні параметри механічного ЗП.

Оскільки функціонали цільових функцій, що зв'язують критерій оптимізації з незалежними факторами, можуть бути різноманітні, то тут для стислості обмежимося відображенням цільових функцій у загальному виді, що поки достатньо для викладання застосованої методології параметричного синтезу. Таке обмеження виправдане ще й тим, що власне процедура обчислення оптимальних або, скоріше, квазіоптимальних значень параметрів може здійснюватися як аналітичними, так і чисельними методами.

Пропонована модифікація полягає в наступному: відобразимо не тільки наявність зв'язку критеріїв оптимізації з незалежними змінними в межах цільових функцій, що вже відомо та істотно, але ще й зв'язок самих цільових функцій на різних рівнях технічної системи (див. позначення штриховими стрілками на рис. 6, б), в даному випадку структури мобільного РДО.

Отже, на 1-му рівні параметричного синтезу для морфологічної комбінації E4 (рис. 6) цільова функція, що включає режими технологічної операції, може бути представлена в загальному виді як функція швидкості різання деревини дисковою фрезою:

$$V = f_1(s, t, T^{-1}) \Rightarrow \max, \quad (4)$$

11 Поліщук М. М. Мобільний робот для обслуговування паркових та лісних деревних масивів. Науково-практичний журнал «Екологічні науки». № 26, 2019. С. 132–137.

при обмеженнях: $s = f_{11}(\sigma)$; $t_1 \leq t_i \leq t_n$, де: s – величина подачі на зуб дискової фрези; σ – межа міцності деревини певної породи; t – глибина різання в межах діапазону значень $t_1...t_n$; T – період стійкості інструмента.

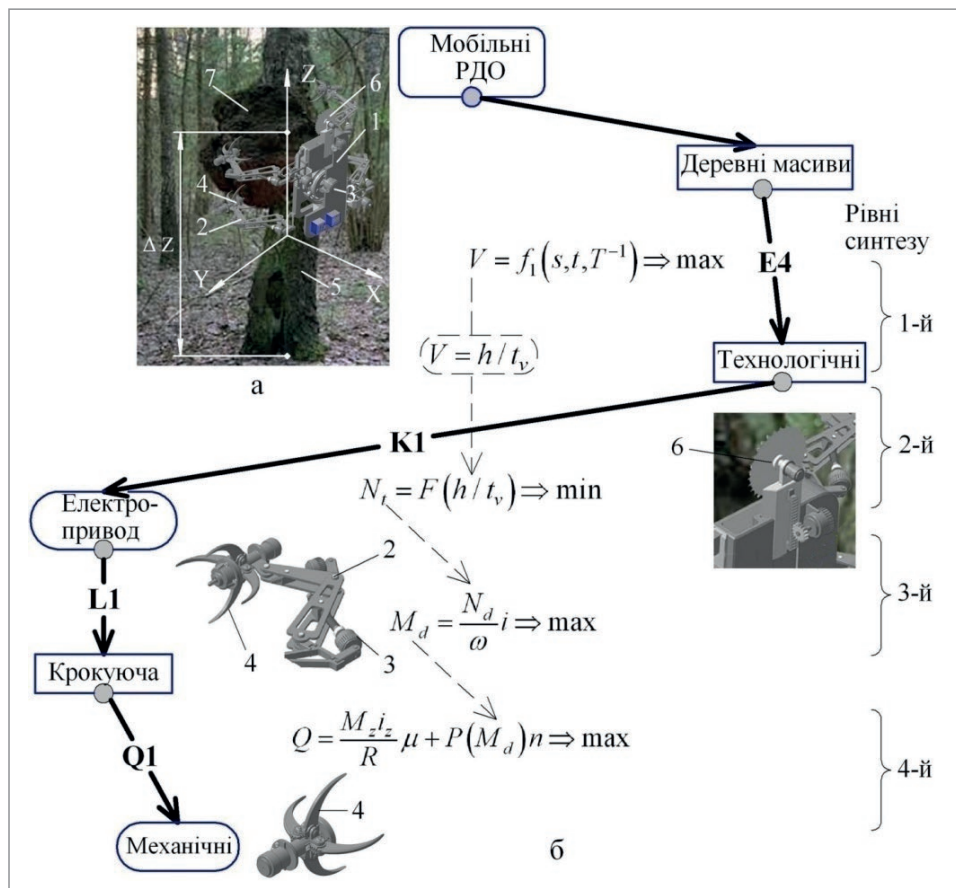


Рис. 6. Структурно-параметричне представлення процесу синтезу мобільного робота для обслуговування паркових масивів

На 2-му рівні параметричного синтезу для морфологічної комбінації ознак K1 (технологічна функція – привод) цільову функцію можна записати як функцію потужності $N_t (kW)$ виконання операції (у цьому випадку різання):

$$N_t = F(h / t_v) \Rightarrow \min, \quad (5)$$

де: F – зусилля різання деревини; h – товщина або діаметр об'єкта різання (гілки, наросту тощо); t_v – час різання; оскільки $(h / t_v) = V$, то можна записати $N_t = FV \Rightarrow \min$, відобразивши тим самим взаємозв'язок 1-го й 2-го рівнів синтезу.

Для морфологічної комбінації ознак L1 (привод – трансмісія) 3-го рівня синтезу цільову функцію можна представити у вигляді крутного моменту M_d електропривода:

$$M_d = \frac{N_d}{\omega} i \Rightarrow \max; \text{ при } N_d = M_d \omega \geq N_t, \quad (6)$$

де: N_d і ω – потужність і кутова швидкість двигуна; i – передатне відношення підсилюючо-передатної ланки (редуктора).

На 4-му рівні параметричного синтезу для комбінації Q1 (привод – система зчеплення з поверхнею переміщення робота) цільову функцію також бажане зв'язати з попереднім функціоналом. Це можна виконати, записавши у вигляді цільової функції вираження для сили зчеплення Q механічного ЗП з поверхнею переміщення мобільного РДО:

$$Q = \frac{M_z i_z}{R} \mu + P(M_d) n \Rightarrow \max; \quad Q \geq (F + mg) K, \quad (7)$$

де: M_z і i_z – крутний момент і передатне відношення приводу захвата; R – виліт (довжина) пазурів захвату; μ – коефіцієнт тертя ковзання між матеріалом пазурів захвату й поверхнею дерева; P – зусилля однієї ноги із числа n ланок крокуючої трансмісії, як функція моменту двигуна M_d у вираженні (6); m – маса робота; g – прискорення вільного падіння; K – коефіцієнт запасу (1,5...2).

Зазначені цільові функції параметричного синтезу аж ніяк не є вичерпними, вони можуть бути доповнені й змінені, тим більше, коли буде поставлено аналогічне завдання оптимізації для інших гілок морфологічного графа (рис.5). Тут ілюструється параметричний взаємозв'язок цільових функцій оптимізації компонентів структури, як ієрархічної багаторівневої технічної системи, показаної на прикладі мобільного робота, зокрема, для обрізки дерев. Більше того, украй бажаний не тільки взаємозв'язок функціоналів на різних рівнях системи, але й функціональний зв'язок між їхніми незалежними змінними й накладеними на них обмеженнями. Створення подібних формалізованих моделей керування параметричним синтезом дозволяє максимально наблизити їх адекватність реальним умовам експлуатації мобільних РДО у технологічному просторі.