

## МОБІЛЬНИЙ РОБОТ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАРКОВИХ ТА ЛІСНИХ ДЕРЕВНИХ МАСИВІВ

Поліщук М.М.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ  
borchiv@ukr.net

Стаття присвячена проблемі створення мобільних роботів для обслуговування паркових та лісних деревних масивів, а також об'єктів плодоовочевих господарств. Надано аналіз сучасних конструкцій роботизованих пристроїв для обрізки дерев та опис принципово нової конструкції мобільного робота довільної орієнтації на стовбурах дерев. Сучасний стан технічного та профілактичного обслуговування вітчизняних лісових й паркових господарств характеризується вкрай низьким рівнем використання автоматизованого обладнання або, принаймні, застосуванням технічних засобів з дистанційним керуванням. Технічний парк у вигляді лісових комбайнів та пересувних автотракторних агрегатів завдає негативного впливу навколишньому середовищу в наслідок викиду в атмосферу забруднювальних речовин, тобто продуктів згорання палива та залишків мастил при використанні приводів із двигунами внутрішнього згорання. Тим часом, виконання таких технологічних операцій як обрізка гілок, суків і наростів дерев, а також діагностика стану деревних масивів може з не аби яким успіхом виконуватись обладнанням с електричним приводом і дистанційним керуванням із залученням засобів як радіозв'язку, так і супутникової навігації – GPS (Global Positioning System) системи глобального позиціонування. Таким автоматизованим обладнанням для виконання вказаних операцій можуть бути мобільні роботи з відповідним технологічним оснащенням. Застосування цього відносно нового виду техніки забезпечує не тільки мобільність пересування по стовбурам дерев, а й головне – дотримання вимог екологічної чистоти щодо відповідного виробництва. Слід враховувати, що автономні джерела живлення приводів мобільних роботів мають обмежений ресурс, то у випадку знеструмлення приводів захватів для зчеплення транспортного засобу з поверхнею переміщення, останні не забезпечують гарантованого втримання робота на дереві, що суттєво знижує надійність його роботи. Вирішенню вказаних задач присвячена дана стаття, в котрій викладено принципово нову конструкцію мобільного робота, надана модифікована методика параметричного синтезу мобільних роботів і наведені рекомендації щодо синтезу крокуючих механізмів. Застосування запропонованого мобільного робота дозволяє здійснювати технічне обслуговування дерев незалежно від їх топології та породи. *Ключові слова:* мобільні роботи, крокуючі механізми, альпіністський робот, обрізка дерев.

**Mobile robot for maintenance of park's and forest woodlands. Polishchuk M.M.** The article is devoted to the problem of the creation of mobile robots for maintenance of park and woodlands, as well as objects of fruit and vegetable farms. The analysis of modern designs of robotic devices for tree trimming and description of fundamentally new construction of mobile robot of arbitrary orientation on tree trunks is given. The current state of technical and preventive maintenance of domestic forest and park farms is characterized by extremely low level of use of automated equipment, or, at least, the use of technical means with remote control. The technical park in the form of forest combines and mobile tractor units has a negative impact on the environment due to the release of pollutants into the atmosphere, that is, the products of combustion of fuel and residues of oils when using drives with internal combustion engines. Performing such technological operations as trimming of branches, bumps and tree stands, as well as diagnosing the condition of woodlands can be performed by equipment with electric drive and remote control with the use of means of radio communication and satellite navigation – GPS (Global Positioning System) of the global positioning system. The use of mobile robots with the appropriate technological equipment ensures not only the mobility of the movement along the tree trunks, but also the main thing – compliance with the requirements of environmental cleanliness in relation to the corresponding production. But keep in mind that autonomous power supplies for mobile robot drives have limited resources. In the event of a power failure of the mobile robot drives, the latter do not provide a guaranteed maintenance of the robot on the tree, which significantly reduces the reliability of its work. The solution of these problems is devoted to this article, in which a fundamentally new construction of a mobile robot is presented, a modified method of parametric synthesis of mobile robots is given and recommendations for the synthesis of stepping mechanisms are given. The application of the proposed mobile robot allows the maintenance of trees regardless of their topology and breed. *Key words:* mobile robots, stepping mechanisms, climber robot, tree trimming.

**Постановка проблеми.** Сучасним машинам для технічного та профілактичного обслуговування лісового й паркового господарств, що здійснюють технологічні операції обрізки гілок, суків і наростів дерев, притаманний такий суттєвий недолік як відсутність мобільності пересування по стовбурам дерев, тобто без посередньої участі людини у їх орієнтації неза-

лежно від топології та порід дерев. Машини у вигляді лісових комбайнів є досить ефективним засобом механізації процесу обрізки дерев, однак цей вид техніки не обмежує функції людини тільки дистанційним керуванням, а вимагає особистої участі оператора у водінні ходової частини. У разі застосування мобільних транспортних засобів, слід враховувати,

що автономні джерела живлення їх приводів, мають обмежений ресурс, то у випадку знеструмлення приводів захватів для зчеплення транспортного засобу з поверхнею переміщення, останні не забезпечують гарантованого втримання робота на дереві, що суттєво знижує надійність його роботи.

**Актуальність дослідження.** Використання транспортних засобів у вигляді різноманітних моделей автотракторного обладнання для обслуговування паркових та лісних масивів завдає негативного впливу навколишньому середовищу, оскільки цим засобам притаманний викид в атмосферу забруднювальних речовин в наслідок використання приводів із двигунами внутрішнього згорання.

Альтернативою використанню автотракторних засобів із зазначеною метою є створення й експлуатація мобільних роботів довільної орієнтації в просторі, відомих у міжнародних виданнях під терміном *Climber Robot* (альпіністський робот). Ця нова модифікація мобільних роботів оснащена засобами втримання робота на поверхні довільної орієнтації відносно обр'ю технологічного простору. Беручи до уваги, що даний вид робототехніки повною мірою задовольняє вимогам екологічної чистоти, а його створення перебуває на початковій стадії й тільки у вигляді дослідних зразків, слід уважати викладені нижче дослідження актуальними.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Робота виконана відповідно до науково-технічної теми ФІОТ-ІТК/2017 «Синтез технологічних роботів довільної орієнтації» за Державним номером реєстрації № 01117U004912, що реалізується в межах досліджень в галузі робототехніки Національного технічного університету України «КПІ ім. І. Сікорського», зокрема на базі лабораторії робототехніки Факультету інформатики та обчислювальної техніки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичні й експериментальні дослідження зі створення роботів довільної орієнтації в просторі, тобто роботів здатних переміщатися по поверхнях, розташованих під довільними кутами до обр'ю, почалися відносно недавно – в останньому десятилітті ХХ століття в країнах Західної Європи, США, Японії, Кореї, Китаї й Росії. На жаль, приклади вітчизняних розробок, так само як і публікацій (крім авторських) до теперішнього часу в даній області відсутні.

Брак мобільності відомих машини для контурної обрізки плодових чи паркових дерев, що, як правило, включають встановлену на ходовій частині раму зі змонтованим на ній ріжучим апаратом у вигляді дискових пилок або вертикальних ножів, може бути компенсований використанням мобільних роботів вертикального переміщення [1] або, так званих, роботів для скелелазіння (*Wall Climbing Robots*). Ці роботи містять як колісну, так і крокову трансмісію, а головне, оснащені засобами для зчеплення робота з поверхнею переміщення у вигляді вакуумних або

механічних пристроїв, а також систему дистанційного керування. Однак відсутність у даних роботів, будь-якого технологічного оснащення для обрізки дерев не дозволяє використовувати їх із зазначеною метою. В той же час, не аби який інтерес викликає робот-обрізувач [2] для деревоподібних і чагарникових насаджень, що включає самохідне шасі з розміщеними на ньому механізмами для переміщення й орієнтації ріжучих органів відносно крон дерев і чагарників. Високотехнологічне інформаційне оснащення робота, дозволяє відтворити віртуальні 3D-образи крон дерев для ідентифікації об'єктів обрізки. Однак у конструкції даного робота, так само як і у відомих комбайнах для обрізки дерев, використовується самохідне шасі, позбавлене можливості переміщення безпосередньо по дереву, що обмежує його технологічні можливості.

На відміну від попереднього технічного розв'язку робот [3] із шістьма ногами має здатність переміщення безпосередньо по стовбуру дерева. Робот містить корпус із установленими на ньому шістьма приводними ніжками у вигляді шарнірних паралелограмів, оснащених голчастими зачепами. При оснащенні даного робота відповідним технологічним інструментом, він може бути використаний для обрізки гілок дерев. Однак відсутність у конструкції робота пристрою повороту не дозволяє роботів змінювати траєкторію руху, що суттєво обмежує його маневреність як мобільного засобу для пересування по деревах. Мобільний робот, описаний в монографії [4], містить корпус із захватами, виконаними у вигляді пазурів, що утворюють фаланги захвату й постачених пружинами для зчеплення захвату зі стовбуром дерева й лінійним приводом для розкриття захвату.

Однак при виконанні силових технологічних операцій, таких як обрізка гілок дерев, необхідне підвищення зусилля пружин (точніше їх жорсткості), що стискають пазурі захватів, а, отже, і підвищення потужності лінійного приводу для розкриття пазурів захватів, що неминуче приводить до збільшення ваги пристрою, а значить і до зростання гравітаційного навантаження на робот.

Аналіз наведених технічних рішень вказує на необхідність підвищення надійності експлуатації мобільного робота при відсутності обмежень його орієнтації на стовбурі або гілках дерев. Таки чином, задача створення мобільного робота для обслуговування деревних масивів залишається актуальною.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Для запобігання аварійної ситуації, тобто зриву робота з поверхні переміщення довільної орієнтації, у цьому випадку з поверхні стовбурів дерев, необхідно створити конструкцію його трансмісії, що володіє здатністю блокування систем зчеплення з поверхнею переміщення у випадку знеструмлення приводів руху робота. Крім того, дотепер відсутня

методика параметричного синтезу подібних мобільних роботів, яка б дозволила здійснювати їхнє проектування, з наступним забезпеченням надійного виконання технологічних операцій на поверхнях з довільною орієнтацією в просторі.

**Новизна.** Принципова новизна конструктивних рішень мобільного робота підтверджена кваліфікаційною експертизою Державного підприємства «Укрпатент» [5]. Запропонована нижче конструкція мобільного робота для обслуговування дерев дозволяє суттєво підвищити надійність експлуатації застосуванням самогальмуючих механізмів у конструкції захватів робота для його зчеплення з поверхнею дерева, а можливість довільної орієнтації забезпечується поділом корпусу робота на дві паралельні платформи, постачені приводом відносного повороту.

**Методологічне або загальнонаукове значення.**

Запропонована модифікована методика структурно-параметричного синтезу мобільних роботів довільної орієнтації. Пропонована модифікація полягає в відображенні не тільки наявності зв'язку критеріїв оптимізації з незалежними змінними в межах цільових функцій, що вже відомо, але ще й зв'язку цільових функцій на різних рівнях такої ієрархічної технічної системи як мобільний робот для обслуговування дерев.

**Викладення основного матеріалу.** Спочатку розглянемо принципово нову конструкцію та алго-

ритм дії мобільного робота для обслуговування деревних масивів, а потім запропонуємо модифікацію параметричного синтезу вказаного типу робота.

**Конструкція робота.** Мобільний робот працює наступним чином. У початковому положенні розташовані по діагоналі платформ 1 і 2 (рис. 1) захвати А і D зчеплені зі стовбуром дерева, а захвати В і С вільні від зчеплення. По командах системи дистанційного керування двигуни 3 і встановлені на їхніх валах шестірні 4 повідомляють переміщення зубчастим рейкам 5, жорстко з'єднаним з корпусом робота по діагоналі. У результаті платформи 1 і 2 роблять переміщення  $\pm\Delta Z$  у напрямку осі Z у системі координат XYZ щодо стовбура дерева.

Для виконання наступного кроку руху робота зі стовбуром дерева зчіплюються захвати В і С, а захвати А і D звільняються від зчеплення. При реверсі двигунів 3 шестірня 4 обкатується по зубчастій рейці 5 (оскільки тепер корпус робота через захвати В, С фіксовано на стовбурові дерева) і діагонально розташовані ноги робота з вільними від зчеплення захватами А і D переміщуються на таку ж величину  $\pm\Delta Z$ . Для продовження поступального руху викладений цикл повторюється при зчепленні попарно діагонально розташованих захватів А, D і В, С, а також при відповідному реверсі двигунів 3. Одночасно з поступальним переміщенням робота уздовж дерева, залежно від топології його стовбура, здійснюють кутовий рух стегна 6 і гомілки 7 ніг робота.

Для цього включають двигуни 8, які обертаючи самогальмуючі гвинти 9 зі швидкістю  $\omega_1$  через шарнірно закріплені гайки, повідомляють стегнам кутовий рух  $\pm\varphi_1$  згідно із заданою програмою або по командах оператора. Аналогічно роблять кутові рухи  $\pm\varphi_2$  і гомілки ніг робота, оснащені такими ж самогальмуючими гвинтовими приводами зі швидкістю  $\omega_2$ , як і стегна, але з меншою потужністю. Програма комбінаторики рухів визначається топологією дерева.

Рух повороту мобільного робота, точніше його платформ 1 і 2, здійснюється при почерговому зчепленні захватів А, D і В, С. Так, наприклад, коли зі стовбуром дерева зчеплені захвати А і D а захвати В і С вільні від зчеплення, то при включенні двигуна 10 через трансмісію повертається нижня платформа 2 навколо осі X на кут  $\pm\alpha$ . А при зчепленні захватів В і С нижньої платформи й звільненні від зчеплення зі стов-

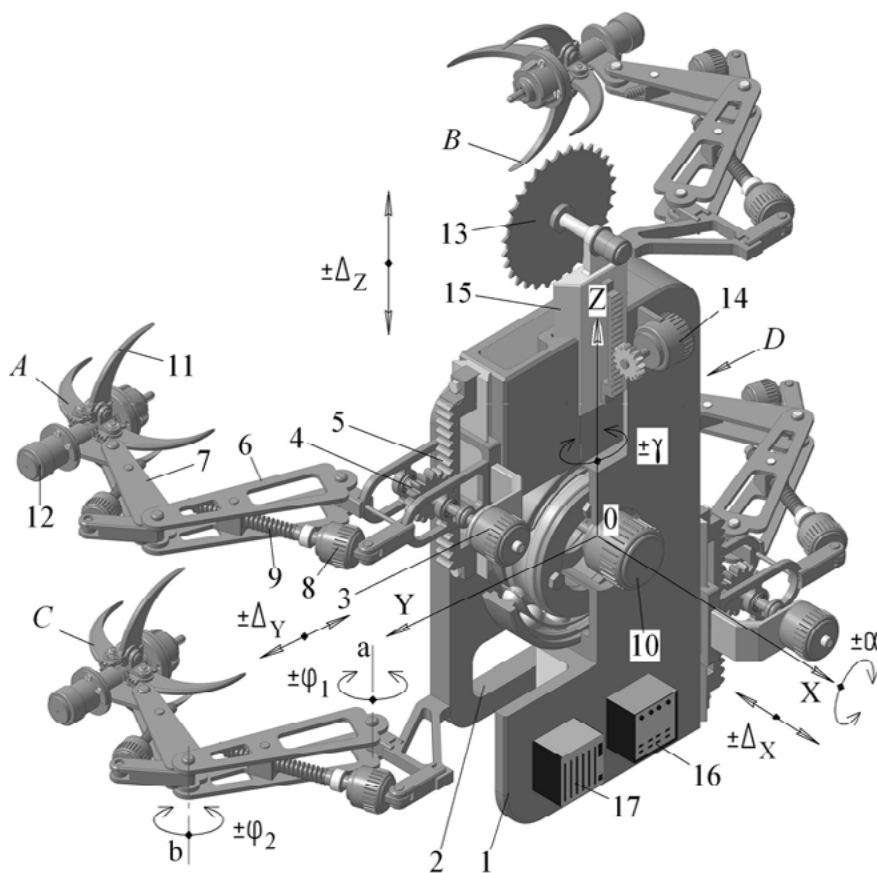


Рис. 1. Мобільний робот для обрізки дерев

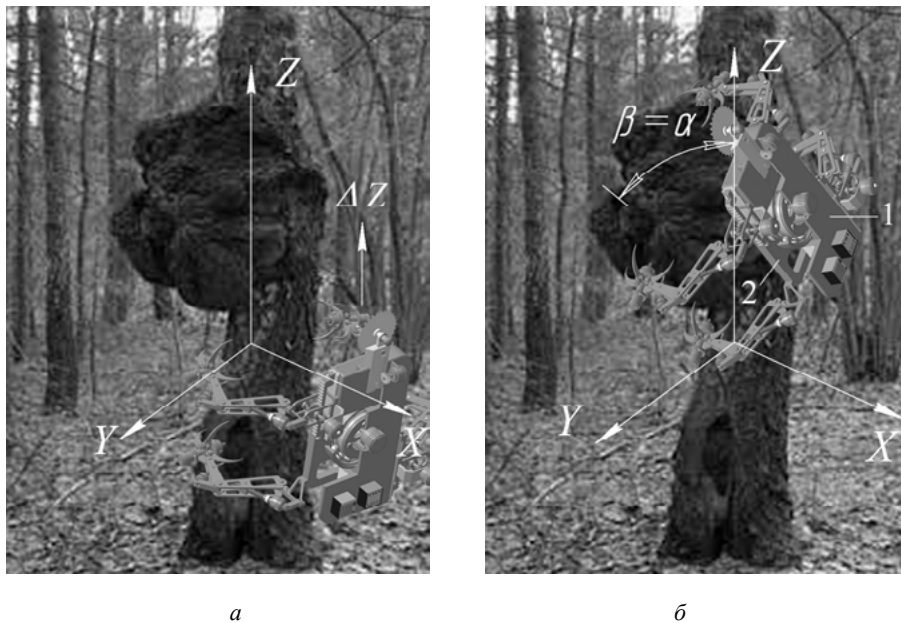


Рис. 2. Положення мобільного робота на дереві з наростом

буром дерева захватів А і D, при реверсі двигуна 10 повертається верхня платформа 1 на кут  $\beta = \alpha$ . Таким чином, реалізуючи вище викладені переміщення, мобільний робот має п'ять ступенів свободи, а саме: поступальний рух  $\pm \Delta z$  уздовж осі Z під дію приводів і поворот  $\pm \alpha$  навколо осі X при обертанні привода 10. А також, у результаті погодженого програмою кутових рухів  $\pm \varphi_1$  та  $\pm \varphi_2$  відповідно стегон і гомілок, ще два поступальні переміщення  $\pm \Delta x$ ,  $\pm \Delta y$  і кутовий рух  $\pm \gamma$  навколо осі Z. Зазначених п'яти ступенів рухливості цілком достатньо для довільної орієнтації робота при виконанні обрізки дерев будь якої топології.

Власне зведення та розведення важелів-пазурів 11 захватів А, D і В, С робота здійснюється за допомогою відповідних двигунів 12 через самогальмуючу черв'ячну передачу, яка і забезпечує надійність утримання робота на стовбурі у разі вимкнення або знеструмлення автономних джерел живлення приводів робота. Відрізка гілок дерев, сучків і різних наростів на стовбурах дерев здійснюється технологічним модулем, що складається з дискової пили 13 та електромеханічного приводу 14, розміщених на полозку 15. Керування роботом здійснюється бортовим комп'ютером 16, а живлення блоком 17 акумуляторних батарей.

На рис. 2 показані різні положення мобільного робота на дереві з наростом, що підлягає видавленню. У системі координат XYZ робот рухається по стовбуру дерева за командами системи дистанційного керування в напрямі осі Z (рис. 2, а), пройшовши дистанцію  $\Delta Z$  до наросту, робот зупиняють. По команді виключають зчеплення захватів верхньої

платформи 1 і розвертають її в напрямку наросту на кут  $\beta = \alpha$  (рис. 2, б) до збігу з нижньою платформою. Далі за допомогою дискової фрези зрізають нарост вроздріб, здійснюючи відповідне керування рухами робота в порядку описаному вище.

Запропонований мобільний робот може бути реалізований в умовах промислового виробництва з використанням стандартного встаткування, сучасних матеріалів і технологій на будь-якому машинобудівному підприємстві.

*Параметричний синтез робота.* Динамічний аналіз мобільного робота довільної орієнтації у технологічному просторі виконано в роботі [6], в котрій надана математична модель динамічного навантаження робота та результати імітаційного моделювання з відображенням графоаналітичних залежностей конструктивно-технологічних параметрів робота.

Параметричний синтез<sup>1</sup> мобільного робота виконаємо на основі окремо обраної морфологічної структури [7]. Нехай згідно з технічним завданням потрібно розробити конструкцію мобільного робота для обслуговування паркових деревних масивів, зокрема для обрізки наростів, сучків і віток на деревах. На основі методу морфологічного конструювання попередньо виконано синтез необхідної структури, що виділена на морфологічному графові (рис. 3) стовщеними лініями зі стрілками й позначеннями морфологічних ознак А, В, С і D комбінацій, що відображають: деревні масиви → технологічні операції → електропривод → із крокуючою трансмісією → й механічними захватами для зчеплення зі стовбуром дерева. Структура мобільного робота

<sup>1</sup> Параметричний синтез – процес визначення оптимальних або квазіоптимальних параметрів елементів синтезованого об'єкта, при задоволенні умовам технічного завдання (ТЗ). При параметричному синтезі структура повинна бути задана.

показана із відображенням цільових функцій для оптимізації її параметрів.

Згідно з технічним завданням мобільний робот 1 (рис. 3,а), оснащений крокуючою трансмісією 2 з електроприводами 3 (С) і механічними (D) захватами 4, повинен переміщатися по стовбуру дерева 5 у системі координат XYZ на величину  $\Delta Z$  і виконувати технологічну операцію (A), що полягає в тому, щоб дисковою фрезою 6 зрізати деревні нарости 7. Тоді, відповідно до обраної з морфологічного графу структури на рис. 3(б), оптимізації підлягають наступні параметри: режими технологічної операції (різання наростів)  $\rightarrow$  характеристики електроприводу  $\rightarrow$  крокуючої трансмісії  $\rightarrow$  конструктивні параметри механічного захвату.

Оскільки функціонали цільових функцій, що зв'язують критерій оптимізації з незалежними факторами, можуть бути різноманітні й визначаються рівнем кваліфікації конструктора чи математика, 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, що в сукупності виходить за рамки цих досліджень.

Тут викладемо запропоновану модифікацію методики параметричного синтезу для такої багаторівневої ієрархічної структури, як мобільний робот. 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 (тобто тривіально), але ще й зв'язок самих цільових функцій на різних рівнях технічної системи (див. позначення штриховими стрілками на рис. 3б), у цьому випадку структури мобільного робота.

Отже, на 1-му рівні параметричного синтезу для морфологічної комбінації «А» цільова функція, що включає режими технологічної операції, може бути представлена в загальному виді як функція швидкості різання деревини дисковою фрезою:

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

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

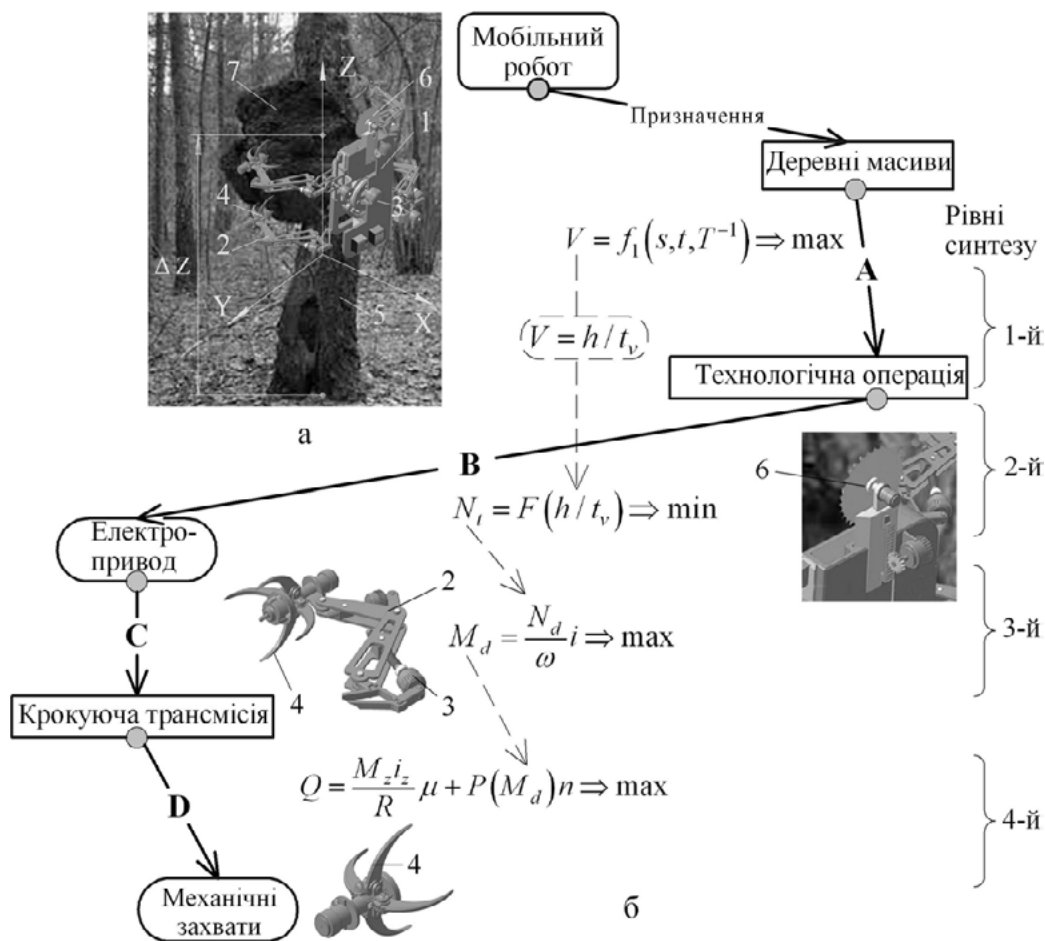


Рис. 3. Структурно-параметрична модель мобільного робота для обрізки дерев

На 2-му рівні синтезу для морфологічної комбінації ознак «В» (технологічна функція – привод) цільову функцію можна записати як функцію потужності  $N_i(kW)$  виконання технологічної операції (у цьому випадку різання):

$$N_i = F(h/t_v) \Rightarrow \min, \quad (2)$$

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

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

$$M_d = \frac{N_d}{\omega} i \Rightarrow \max; \text{ при } N_d = M_d \omega \geq N_i, \quad (3)$$

де:  $N_d$  і  $\omega$  – потужність і кутова швидкість двигуна;  $i$  – передатне відношення підсилювально-передатної ланки (тобто редуктора).

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

$$Q = \frac{M_z i_z}{R} \mu + P(M_d) n \Rightarrow \max; \quad Q \geq (F + mg) K, \quad (4)$$

де:  $M_z$  і  $i_z$  – крутний момент і передатне відношення приводу захвата;  $R$  – виліт (довжина) пазурів захвата;  $\mu$  – коефіцієнт тертя ковзання між матеріалом пазурів захвата й поверхнею дерева;  $P$  – зусилля однієї ноги із числа  $n$  ланок крокуючої трансмісії, як функція моменту двигуна  $M_d$  у вираженні (3);  $m$  – маса робота;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $K$  – коефіцієнт запасу (1,2...1,5) для компенсації інерційних перехідних процесів.

Зазначені цільові функції параметричного синтезу спрощені та аж ніяк не є вичерпними, вони можуть бути доповнені й змінені, тим більше, коли буде поставлено аналогічне завдання оптимізації для інших гілок морфологічного графа. На даному етапі згідно методу параметричного синтезу надзвичайно важливий параметричний взаємозв'язок цільових функцій оптимізації компонентів структури, як ієрархічної багаторівневої технічної системи, показаної на прикладі мобільного робота, зокрема, для обрізки дерев.

Створення подібних формалізованих моделей, тобто у взаємозв'язку цільових функцій на різних рівнях ієрархії системи, дозволить максимально підвищити їхню адекватність реальним умовам експлуатації мобільних роботів. Власне методи розв'язку задачі відшукування локальних екстремумів критеріїв оптимізації на кожному з рівнів досить відомі

й можуть включати як аналітичні, так і чисельні методи. У всякому разі знаходження квазіоптимальних розв'язків сприяє підвищенню ефективності проектування, а значить і експлуатації мобільних роботів довільної орієнтації в технологічному просторі, як нового виду засобів виробництва.

**Головні висновки.** Завдяки виконанню робота у вигляді двох паралельних платформ, постачених приводом повороту відносно одна одної, робот практично не має обмежень по куту повороту, що забезпечує його достатню маневреність при переміщенні по деревах будь якої топології та породи.

Оснащення приводу важелів-пазурів захватів для зчеплення робота з поверхнею переміщення самогальмуючою черв'ячною зубчастою передачею виключає розкриття захватів у випадку знеструмлення приводів, а, отже, забезпечує гарантоване втримання робота на дереві, тобто підвищує надійність його експлуатації.

Модифікація параметричного синтезу, що полягає у взаємозв'язку цільових функцій на різних рівнях синтезу, надає можливість шляхом знаходження квазіоптимальних розв'язків, суттєво підвищити ефективність проектування мобільних роботів, а, отже, і їхньої майбутньої експлуатації.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Оскільки створення мобільних роботів довільної орієнтації у технологічному просторі знаходиться на початковій стадії, то вкрай важливо використання не тільки принципово нових конструкцій роботів, а й модифікованих методик їх проектування. Такий підхід до синтезу роботів вказаного типу дозволить в кінцевому підсумку створювати нові засоби виробництва, що відповідають вимогам забезпечення екологічної чистоти обладнання для обслуговування паркових та лісових масивів дерев.

### Література

1. Dethle R.D, Jaju S.B. Developments in Wall Climbing Robots: A Review. *International Journal of Engineering Research and General Science*. Volume 2, Issue 3, 2014. P. 35–37.
2. Патент RU 2409931 МПК А01G 3/00. Робот-обрезчик; заявл. 17.07.2008; опубл. 27.01.2011, Бюл. № 3, 2011.
3. Saunders A., Goldman D.I, Full R.J., Buehler M. The RiSE Climbing Robot: Body and Leg Design. *Boston Dynamics, Unmanned Systems Technology VIII 2005*; Vol. 6230. P. 1–13.
4. Tin Lun Lam, Yangsheng Xu. *Tree Climbing Robot: Design, Kinematics and Motion Planning*. Springer Heidelberg, New York, 2012. P. 37–46.
5. Мобільний робот для обрізки дерев. МПК А01G 23/00. Заявка № а201901310; заявл. 11.02.2019; опубл. 10.05.2019. Укрпатент. Бюл. № 9. 14 с.
6. Polishchuk M.N., Oliinyk V.V. Dynamic Model of a Stepping Robot for Arbitrarily Oriented Surfaces. In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education II. ICCSEEA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Cham, vol. 938, 2019. P. 32–42.
7. 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 № 2, 2019. С/ 1–12.