

## Встановлення раціональної зони переміщень маніпулятора технологічної ділянки

### Establishment of a rational manipulator movement zone of the technological site

*І. Р. Каратник, канд. техн. наук, В. В. Кий, канд. техн. наук, Б. О. Магура, канд. техн. наук*  
Національний лісотехнічний університет України Львів, Україна

**Мета.** Обґрунтування раціональних напрямків і найкоротших відстаней переміщень стаціонарного маніпулятора на обслуговуванні об'єктів технологічної ділянки лісопромислового складу.

**Методи дослідження.** Предметну модель профільних січень верхньої межі об'єднаних об'єктів технологічної ділянки (споруд, устаткування, буферних зон тощо) побудовано на основі аналітичного представлення її елементів гладкими лінійними функціями; виконано їх апроксимацію інтерполяційними множниками у вигляді лінійної комбінації функції, які утворюють скінчену множину елементів довільного профільного січення поверхні технологічного устаткування.

**Результати.** Розроблено загальну предметну модель поверхні технологічної ділянки, над якою маніпулятором здійснюється переміщення робочим органом з предметом праці, або без нього. В залежності від напрямків переміщень робочого органа маніпулятора над устаткуванням ділянки, модель дозволяє отримати січення поверхні ділянки, за якою визначається пряmlinійне або раціональне переміщення робочого органа маніпулятора.

**Висновки.** Встановлено, що параметри поверхні технологічного устаткування ділянки є підставою для визначення раціональної зони переміщень робочого органа маніпулятором; траєкторії і відстані переміщень робочого органа і предмета праці маніпулятором певного типорозміру необхідні для обґрунтування параметрів його основних елементів.

**Ключові слова:** маніпулятор, робочий орган, поверхня технологічного устаткування, межа переміщень, апроксимація січення поверхні, інтерполяційний поліном.

#### Постановка проблеми

Для раціонального переміщення робочого органа стаціонарним маніпулятором, який обслуговує певний технологічний об'єкт лісопромислового складу (передцехову ділянку з устаткуванням, операційну зону головного устаткування технологічної ділянки, ділянку розвантаження стовбурних лісоматеріалів тощо) доцільним є налаштувати роботу маніпулятора в допустимо обмеженому просторі переміщень робочого органа з предметом праці (без нерегламентованої взаємодії з технологічним устаткуванням), що прямо пропорційно впливає на його продуктивність [1, 2]. Нижня границя допустимої зони переміщень маніпулятора може бути встановлена, наприклад, «умовною поверхнею», над якою повинен здійснити рух маніпулятором робочий орган з предметом праці, а верхня повинна бути обмежена поверхнею допустимого безперешкодного його переміщення. Напрямки переміщень робочого органа з предметом праці маніпулятором при цьому встановлюються прямою між початковою і кінцевою точками переміщення предмета праці у відповідності з технологічним процесом.

#### Аналіз відомих досліджень та постановка задачі

Наявність аналітичного представлення перерізів умовної поверхні устаткування гладкими лінійними функціями дає можливість виконати їх апроксимацію, наприклад, інтерполяційними множниками у вигляді лінійної комбінації функції деякого класу, які утворюють скінчену множину  $\{\varphi_i(x)\}$  системи елементів  $\varphi_i(x)$  [3].

Тому процедуру необхідно виконати для ще однієї апроксимації переміщення робочого органа маніпулятора з предметом праці, наприклад, з лісотранспортного засобу з сортиментом у будь-яке місце зони технологічного устаткування. Для цього перерізи умовної поверхні вказаної зони  $\{f_i = \gamma f_i(x)\}$  вибираються як пряmlinійні траєкторії переміщення робочого органа з предметом праці (наприклад, з сортиментом), що зумовлює найменші

втрати часу під час операцій маніпулятора. Вказана апроксимація повинна виконуватися в площинах перерізів  $\{X_i O Y_i\}$  на певній безпечній висоті робочого органа з предметом праці над відповідним профілем поверхні устаткування технологічної дільниці (рисунок 1) і, наприклад, лісотransпортного засобу.

Умовою останнього твердження є те, що лінія апроксимації переміщення робочого органа з предметом праці належить цій площині:  $y_i = f_i(x_i) \in F_i(x_i; y_i)$ , тобто пряма проходить через вузлові точки, які належать  $F_i(x_i; y_i)$  і її проекція співпадає з віссю  $O_i X_i$ .

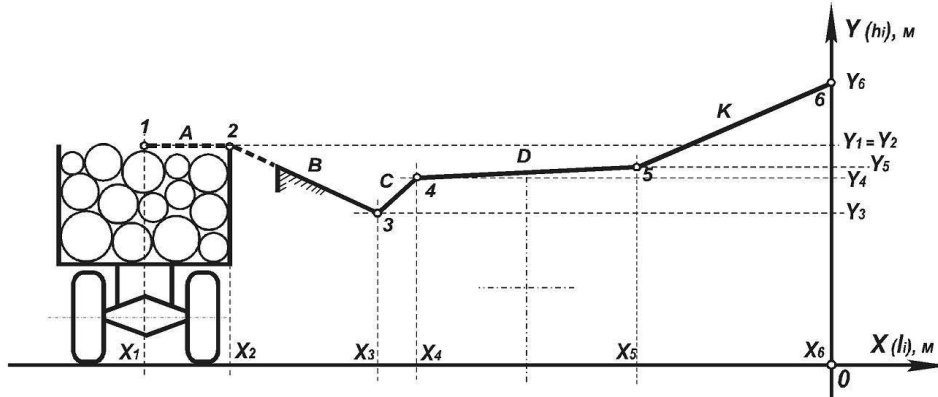


Рисунок 1 — Схема профільних параметрів умовної поверхні устаткування і лісотransпортного засобу з маніпуляторним обслуговуванням.

Метою дослідження роботи маніпулятора є обґрунтування напрямків і найкоротших відстаней переміщення ним робочого органа з предметом праці (чи без нього) між об'єктами технологічної дільниці, що зумовить його продуктивну роботу і є підставою для автоматизації робочих циклів маніпулятора.

**Викладення основного матеріалу.** Для побудови інтерполяційного полінома треба зауважити, що для нього необхідними і обов'язковими є вузлові точки  $(x_i; y_i)$  і  $(x_6; y_6)$ , як показано на рисунку 1, оскільки це є точки початку і закінчення переміщення робочого органа з предметом праці. Внутрішні точки перерізів профілю поверхні обладнання на проміжку між вказаними є менш важливими; вони також приймаються вузловими, тому інтерполяційний многочлен треба будувати в степені  $m = 7$ , який можна трансформувати в поліном нижчої степені (наприклад  $m = 3$  або  $m = 2$ ) [3, 4] в залежності від умов переміщення робочого органа з предметом праці над поверхнею устаткування і лісотransпортного засобу. Для інтерполяційного полінома задаємо значення вузлових точок і прямих, що їх поєднують (таблиця 1).

Таблиця 1 — Таблиця координат інтерполяційного полінома профілю поверхні устаткування і лісотransпортного засобу

$\gamma_{jxi} (i=1...6)$	0	$\gamma_{jx5}$	$\gamma_{jx4}$	$\gamma_{jx3}$	$\gamma_{jx2}$	$\gamma_{jx1}$
$y_i (i=1...6)$	$y_{K6}$	$y_{K5}$	$y_{D4}$	$y_{C3}$	$y_{B2}$	$y_{A1}$

$$\varphi(x) = \frac{(x-x_5)(x-x_4)(x-x_3)(x-x_2)(x-x_1)}{(0-x_5)(0-x_4)(0-x_3)(0-x_2)(0-x_1)} \cdot y_{K6} +$$

$$+ \frac{(x-0)(x-x_4)(x-x_3)(x-x_2)(x-x_1)}{(x_5-0)(x_5-x_4)(x_5-x_3)(x_5-x_2)(x_5-x_1)} \cdot y_{K5} +$$

$$+ \frac{(x-0)(x-x_5)(x-x_3)(x-x_2)(x-x_1)}{(x_4-0)(x_4-x_5)(x_4-x_3)(x_4-x_2)(x_4-x_1)} \cdot y_{D4} +$$

$$+ \frac{(x-0)(x-x_5)(x-x_4)(x-x_2)(x-x_1)}{(x_3-0)(x_3-x_5)(x_3-x_4)(x_3-x_2)(x_3-x_1)} \cdot y_{C3} +$$

$$+ \frac{(x-0)(x-x_5)(x-x_4)(x-x_3)(x-x_1)}{(x_2-0)(x_2-x_5)(x_2-x_4)(x_2-x_3)(x_2-x_1)} \cdot y_{B2} +$$

$$+ \frac{(x-0)(x-x_5)(x-x_4)(x-x_3)(x-x_2)}{(x_1-0)(x_1-x_5)(x_1-x_4)(x_1-x_3)(x_1-x_2)} \cdot y_{A1}; (1)$$

Розкладений за степенями поліном (1) виду:

$$\varphi(x) = \frac{x^5 - \Delta_1 x^4 + \Delta_2 x^3 - \Delta_3 x^2 + \Delta_4 x + \Delta_5}{\Delta_6} \cdot y_{K6} +$$

$$+ \frac{x^5 - \Delta_7 x^4 + \Delta_8 x^3 - \Delta_9 x^2 + \Delta_{10} x}{\Delta_{11}} \cdot y_{K5} +$$

$$+ \frac{x^5 - \Delta_{12} x^4 + \Delta_{13} x^3 - \Delta_{14} x^2 + \Delta_{15} x}{\Delta_{16}} \cdot y_{D4} + (2)$$

$$+ \frac{x^5 - \Delta_{17} x^4 + \Delta_{18} x^3 - \Delta_{19} x^2 + \Delta_{20} x}{\Delta_{21}} \cdot y_{C3} +$$

$$+ \frac{x^5 - \Delta_{22} x^4 + \Delta_{23} x^3 - \Delta_{24} x^2 + \Delta_{25} x}{\Delta_{26}} \cdot y_{B2} +$$

$$+ \frac{x^5 - \Delta_{27} x^4 + \Delta_{28} x^3 - \Delta_{29} x^2 + \Delta_{30} x}{\Delta_{31}} \cdot y_{A1}$$

Таблиця 2 — Визначення показників полінома (2)

Значення показників полінома

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \gamma \cdot (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5); \\ \Delta_2 &= \gamma^2 \cdot (x_1 x_2 + x_1 x_3 + x_1 x_4 + x_1 x_5 + x_2 x_3 + \\ &\quad + x_2 x_4 + x_2 x_5 + x_3 x_4 + x_3 x_5 + x_4 x_5); \\ \Delta_3 &= \gamma^3 \cdot (x_2 x_3 x_4 + x_2 x_3 x_5 + x_2 x_4 x_5 - x_1 x_2 x_3 - \\ &\quad - x_1 x_2 x_4 - x_1 x_3 x_4 - x_1 x_2 x_5 - x_1 x_3 x_5 - x_1 x_4 x_5); \\ \Delta_4 &= \gamma^4 \cdot (x_1 x_2 x_3 x_4 + x_1 x_2 x_3 x_5 + x_1 x_2 x_4 x_5); \\ \Delta_5 &= \gamma^5 \cdot x_1 x_2 x_3 x_4 x_5; \\ \Delta_6 &= -\gamma^5 \cdot x_1 x_2 x_3 x_4 x_5; \\ \Delta_7 &= \gamma \cdot (x_1 + x_2 + x_3 + x_4); \\ \Delta_8 &= \gamma^2 \cdot (x_1 x_2 + x_1 x_3 + x_1 x_4 + x_2 x_3 + x_2 x_4 + x_3 x_4); \\ \Delta_9 &= \gamma^3 \cdot (x_1 x_2 x_3 + x_1 x_2 x_4 + x_2 x_3 x_4); \\ \Delta_{10} &= \gamma^4 \cdot x_1 x_2 x_3 x_4; \\ \Delta_{11} &= \gamma^5 \cdot (x_5^5 - x_4^5 \cdot (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) + x_3^5 \times \\ &\quad \times (x_1 x_2 + x_1 x_3 + x_1 x_4 + x_2 x_3 + x_2 x_4 + x_3 x_4) - \\ &\quad - x_2^5 \cdot (x_1 x_2 x_3 + x_1 x_2 x_4 + x_1 x_3 x_4 + x_2 x_3 x_4) + \\ &\quad + x_5 x_1 x_2 x_3 x_4); \\ \Delta_{12} &= \gamma \cdot (x_1 + x_2 + x_3 + x_5); \\ \Delta_{13} &= \gamma^2 \cdot (x_1 x_2 + x_1 x_3 + x_1 x_5 + x_2 x_3 + x_2 x_5 + x_3 x_5); \\ \Delta_{14} &= \gamma^3 \cdot (x_1 x_2 x_3 + x_1 x_2 x_5 + x_2 x_3 x_5); \\ \Delta_{15} &= \gamma^4 \cdot x_1 x_2 x_3 x_5; \\ \Delta_{16} &= \gamma^5 \cdot (x_5^4 - x_4^4 \cdot (x_1 + x_2 + x_3 + x_5) + x_3^4 \times \\ &\quad \times (x_1 x_2 + x_1 x_3 + x_1 x_5 + x_2 x_5 + x_3 x_5) - \\ &\quad - x_2^4 \cdot (x_1 x_2 x_3 + x_1 x_2 x_5 + x_1 x_3 x_5 + x_2 x_3 x_5) + \\ &\quad + x_4 x_1 x_2 x_3 x_5); \\ \Delta_{17} &= \gamma \cdot (x_1 + x_2 + x_4 + x_5); \\ \Delta_{18} &= \gamma^2 \cdot (x_1 x_2 + x_1 x_4 + x_1 x_5 + x_2 x_4 + x_2 x_5 + x_4 x_5); \\ \Delta_{19} &= \gamma^3 \cdot (x_1 x_2 x_4 + x_1 x_2 x_5 + x_2 x_4 x_5); \\ \Delta_{20} &= \gamma^4 \cdot x_1 x_2 x_4 x_5; \\ \Delta_{21} &= \gamma^5 \cdot (x_5^3 - x_4^3 \cdot (x_1 + x_2 + x_4 + x_5) + x_3^3 \times \\ &\quad \times (x_1 x_2 + x_1 x_4 + x_1 x_5 + x_2 x_5 + x_4 x_5) - \\ &\quad - x_2^3 \cdot (x_1 x_2 x_4 + x_1 x_2 x_5 + x_1 x_4 x_5 + x_2 x_4 x_5) + \\ &\quad + x_3 x_1 x_2 x_4 x_5); \\ \Delta_{22} &= \gamma \cdot (x_1 + x_3 + x_4 + x_5); \\ \Delta_{23} &= \gamma^2 \cdot (x_1 x_3 + x_1 x_4 + x_1 x_5 + x_3 x_4 + x_3 x_5 + x_4 x_5); \\ \Delta_{24} &= \gamma^3 \cdot (x_1 x_3 x_4 + x_1 x_3 x_5 + x_3 x_4 x_5); \\ \Delta_{25} &= \gamma^4 \cdot x_1 x_3 x_4 x_5; \\ \Delta_{26} &= \gamma^5 \cdot (x_5^2 - x_4^2 \cdot (x_1 + x_3 + x_4 + x_5) + x_3^2 \times \\ &\quad \times (x_1 x_3 + x_1 x_4 + x_1 x_5 + x_3 x_5 + x_4 x_5) - \\ &\quad - x_2^2 \cdot (x_1 x_3 x_4 + x_1 x_3 x_5 + x_1 x_4 x_5 + x_3 x_4 x_5) + \\ &\quad + x_2 \cdot x_1 x_3 x_4 x_5); \\ \Delta_{27} &= \gamma \cdot (x_2 + x_3 + x_4 + x_5); \\ \Delta_{28} &= \gamma^2 \cdot (x_2 x_3 + x_2 x_4 + x_2 x_5 + x_3 x_4 + x_3 x_5 + x_4 x_5); \\ \Delta_{29} &= \gamma^3 \cdot (x_2 x_3 x_4 + x_2 x_4 x_5 + x_3 x_4 x_5); \\ \Delta_{30} &= \gamma^4 \cdot x_2 x_3 x_4 x_5; \\ \Delta_{31} &= \gamma^5 \cdot (x_5^1 - x_4^1 \cdot (x_2 + x_3 + x_4 + x_5) + x_3^1 \times \\ &\quad \times (x_2 x_3 + x_2 x_4 + x_2 x_5 + x_3 x_5 + x_4 x_5) - \\ &\quad - x_2^1 \cdot (x_2 x_3 x_4 + x_2 x_3 x_5 + x_3 x_4 x_5 + x_2 x_4 x_5) + \\ &\quad + x_1 x_2 x_3 x_4 x_5), \end{aligned}$$

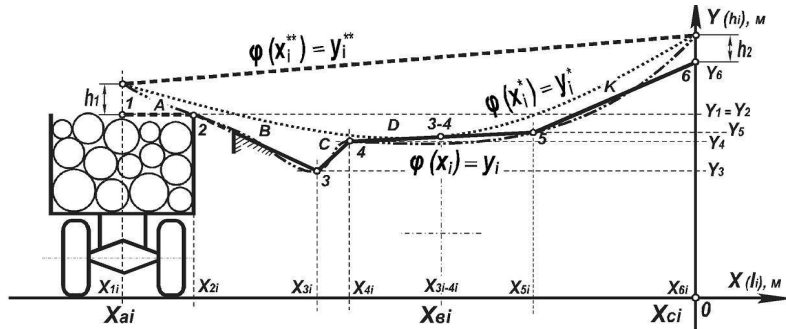


Рисунок 2 — Представлення профільних перерізів зони переміщення робочого органа маніпулятора з предметом праці на технологічній ділянці

Зведена формула інтерполяційного полінома має вигляд:

$$\varphi(x) = a_1 x^5 - a_2 x^4 - a_3 x^3 - a_4 x^2 - a_5 x - a_6, \tag{3}$$

де  $a_i$  ( $i = 1, \dots, 6$ ) — сталі коефіцієнти, які визначаються з наступних виразів:

$$a_1 = \frac{y_{K6}}{\Delta_6} + \frac{y_{K5}}{\Delta_{11}} + \frac{y_{D4}}{\Delta_{16}} + \frac{y_{C3}}{\Delta_{21}} + \frac{y_{B2}}{\Delta_{26}} + \frac{y_{A1}}{\Delta_{31}}; \tag{4}$$

$$a_2 = y_{K6} \frac{\Delta_7}{\Delta_6} + y_{K5} \frac{\Delta_7}{\Delta_6} + y_{D4} \frac{\Delta_{12}}{\Delta_6} + y_{C3} \frac{\Delta_{17}}{\Delta_6} + y_{B2} \frac{\Delta_{22}}{\Delta_6} + y_{A1} \frac{\Delta_{27}}{\Delta_6}; \tag{5}$$

$$a_3 = y_{K6} \frac{\Delta_8}{\Delta_6} + y_{K5} \frac{\Delta_8}{\Delta_6} + y_{D4} \frac{\Delta_{13}}{\Delta_6} + y_{C3} \frac{\Delta_{18}}{\Delta_6} + y_{B2} \frac{\Delta_{23}}{\Delta_6} + y_{A1} \frac{\Delta_{28}}{\Delta_6}; \tag{6}$$

$$a_4 = y_{K6} \frac{\Delta_9}{\Delta_6} + y_{K5} \frac{\Delta_9}{\Delta_6} + y_{D4} \frac{\Delta_{14}}{\Delta_6} + y_{C3} \frac{\Delta_{19}}{\Delta_6} + y_{B2} \frac{\Delta_{24}}{\Delta_6} + y_{A1} \frac{\Delta_{29}}{\Delta_6}; \tag{7}$$

$$a_5 = y_{K6} \frac{\Delta_{10}}{\Delta_6} + y_{K5} \frac{\Delta_{10}}{\Delta_6} + y_{D4} \frac{\Delta_{15}}{\Delta_6} + y_{C3} \frac{\Delta_{20}}{\Delta_6} + y_{B2} \frac{\Delta_{25}}{\Delta_6} + y_{A1} \frac{\Delta_{30}}{\Delta_6}; \tag{8}$$

$$a_6 = y_{K6} \frac{\Delta_5}{\Delta_6}; \tag{9}$$

Зведений поліном (3) за типом є поліномом Лагранжа, у якому коефіцієнти  $a_i$ ,  $i = 1, \dots, 6$  визначаються простими алгебричними залежностями, а множники  $y_{K6}, y_{K5}, y_{D4}, y_{C3}, y_{A1}$ , визначаються системою рівнянь (10), яка вказує напрям переміщення робочого органа маніпулятора з предметом праці [3]:

$$\begin{cases} X_1 = (Z - Z_0) \cos \beta_i + (Y - Y_0) \sin \beta_i, \\ Y_1 = (Z - Z_0) \sin \beta_i + (Y - Y_0) \cos \beta_i, \end{cases} \tag{10}$$

за умови, що відомі розміри відвантажуваних з лісотранспортного засобу сортиментів, а також параметри компонування устаткування на технологічній ділянці маніпуляторного обслуговування, оскільки згідно них встановлюються напрямки переміщення робочого органа маніпулятора — через визначення кутів  $\beta_i$  до нормального профілю умовної поверхні, над якою працює маніпулятор.

Для продуктивного виконання операцій маніпулятором необхідно надавати прямолінійних переміщень робочому органу (з умови найкоротша відстань — найкоротший час переміщення предмета праці і т. д.) [5]. Якщо можливий варіант переміщення робочого органа прямолінійний, то лінія його руху може бути відносно простою лінійною функцією з двома вузловими точками: це точки початку і закінчення планового переміщення робочого органа (без вертикальних переміщень над умовною поверхнею устаткування ділянці  $h_1$ , і лісотранспортним засобом  $h_2$ ):

$$\begin{cases} X_{ai} = X_{li}, & X_{Ci} = X_{6i}, \\ Y_{ai} = Y_{li} + h_1; & Y_{Ci} = Y_{6i} + h_2; \end{cases} \tag{11}$$

З метою створення безпечної відстані над поверхнею устаткування ділянці і лісотранспортного засобу встановлюємо зону можливого переміщення робочого органа з предметом праці з близьким до початкового і кінцевого значення висот траєкторії переміщення (рисунок 2):

$$y_{Bi} = y_{3-4} + h_B, \text{ для } h_B = h_1 = h_2, \tag{12}$$

при цьому координати т.  $B(x_B; y_B)$ :

$$\begin{cases} \chi_{Bi} = l_{2i}; \text{ для } l_{2i} = l_2 / \cos \beta_i, \\ y_{Bi} = 0,5 \cdot (y_{4i} - y_{3i}) + h_2 = 0,5 \cdot (y_{4i} - y_{3i}) + h_1. \end{cases} \quad (13)$$

Тоді для інтерполяції лінії допустимого переміщення робочого органа з предметом праці одержання інтерполяційного полінома  $\varphi_2(\alpha_i^*) = y_i^*$ , слід вважати вузловими точки  $(x_{ai}; y_{ai}), (x_{ei}; y_{ei}), (x_{ci}; y_{ci})$  (рисунок 2). Разом з тим ідеальною траєкторією руху робочого органа є лінія  $l_{ac}$  — пряма з вузловими точками  $(x_{ai}; y_{ai})$  і  $(x_{ci}; y_{ci})$ . Ці дві лінії обмежуватимуть зону раціонального переміщення робочого органа з предметом праці маніпулятора у межах його обслуговування технологічної ділянки. Інтерполяційна функція  $\varphi_2(\alpha_i^*) = y_i^*$  будується у вигляді полінома другої степені з трьома вузловими точками, параметри яких у формалізованих і неозначених (загальних) значеннях представлено у таблиці 3.

Таблиця 3 — Значення вузлових точок інтерполяційного полінома другої степені

Формалізовані значення вузлових точок інтерполяційного полінома			
$\chi_{a\alpha c_i}$	0	$l_{2i} / \cos \beta_i$	$l_{2i} + l_{3i}$
$y_{a\alpha c_i}$	$y_{ai} + h_2$	$0,5 \cdot (y_{4i} - y_{3i}) + h_1$	$y_{1i} + h_1$
Загальні значення вузлових точок інтерполяційного полінома			
$x_i^*$	$x_{ci}$	$x_{ei}$	$x_{ai}$
$y_i^*$	$y_{ci}$	$y_{ei}$	$y_{ai}$

Згідно форми інтерполяційного полінома Лагранжа [3] записується:

$$\begin{aligned} \varphi_2(x_i^*) = & \frac{(x_i^* - x_{ei})(x_i^* - x_{ai})}{(x_{ci} - x_{ei})(x_{ci} - x_{ai})} \cdot y_{ci} + \\ & + \frac{(x_i^* - x_{ci})(x_i^* - x_{ai})}{(x_{ei} - x_{ci})(x_{ei} - x_{ai})} \cdot y_{ei} + \frac{(x_i^* - x_{ci})(x_i^* - x_{ei})}{(x_{ai} - x_{ci})(x_{ai} - x_{ei})} \cdot y_{ai} \end{aligned} \quad (14)$$

Розкладанням многочлена за степенями отримується:

$$\begin{aligned} \varphi_2(x_i^*) = & \left( \frac{y_{ci}}{\Delta_{32}} + \frac{y_{ei}}{\Delta_{33}} + \frac{y_{ai}}{\Delta_{34}} \right) \cdot (x_i^*)^2 - \\ & - (x_{ai}^3 + x_{ci}^2 + x_{ei}) \cdot x_i^* + (x_{ei}x_{ai} + x_{ci}x_{ai} + x_{ci}x_{ei}), \end{aligned} \quad (15)$$

або:

$$y_i^* = \Delta_{35} \cdot (x_i^*)^2 - \Delta_{36} \cdot x_i^* + \Delta_{37}$$

якщо

$$\Delta_{35} = \frac{y_{ci}}{\Delta_{32}} + \frac{y_{ei}}{\Delta_{33}} + \frac{y_{ai}}{\Delta_{34}} \quad ; \quad (16)$$

$$\begin{cases} \Delta_{36} = x_{ai}^3 + x_{ci}^2 + x_{ei}; \\ \Delta_{37} = (x_{ei}x_{ai} + x_{ci}x_{ai} + x_{ci}x_{ei}); \\ \Delta_{34} = x_{ai}^2 - x_{ci}x_{ei} - x_{ci}x_{ai} + x_{ci}x_{ei}; \\ \Delta_{33} = x_{ei}^2 - x_{ei}x_{ci} - x_{ai}x_{ei} + x_{ai}x_{ci}; \\ \Delta_{32} = x_{ci}^2 - x_{ci}x_{ai} - x_{ei}x_{ai} + x_{ei}x_{ai} \end{cases} \quad (17)$$

або у загальному вигляді:

$$y_i^* = \sigma_1(x_i^*)^2 - \sigma_2 x_i^* + \sigma_3, \quad (18)$$

де:  $\sigma_1 = \Delta_{35}; \sigma_2 = \Delta_{36}; \sigma_3 = \Delta_{37}$ .

Інтерполяційна функція  $\varphi_3(x_i^{**}) = y_i^{**}$  будується у вигляді лінійної залежності (прямолінійної), яка задана двома точками  $(x_{ai}; y_{ai})$  і  $(x_{ci}; y_{ci})$  з наступними параметрами (таблиця 4).

Таблиця 4 — Значення вузлових точок лінійного полінома

Позначення точок полінома	Значення вузлових точок			
	формалізовані		загальні	
$x_i^{**}(a, c)$	0	$l_{2i} + l_{3i}$	$x_{ci}$	$x_{ai}$
$y_i^{**}(a, c)$	$y_{ci} + h_2$	$y_{li} + h_1$	$y_{ci}$	$y_{ai}$

$$\varphi_3(a_i^{**}) = \frac{(x_i^{**} - x_{ai})}{(x_{ci} - x_{ai})} \cdot y_{ci} + \frac{(x_i^{**} - x_{ci})}{(x_{ai} - x_{ci})} \cdot y_{ai}; \tag{19}$$

За зведенням залежності (21) одержується:

$$\varphi_3(a_i^{**}) = \frac{y_{ci} - y_{ai}}{x_{ci} - x_{ai}} \cdot x_i^{**} + \frac{y_{ci}x_{ai} + y_{ai}x_{ci}}{x_{ci} - x_{ai}}; \tag{20}$$

або: 
$$y_i^{**} = \Delta_{38}x_i^{**} + \Delta_{39}; \tag{21}$$
 де  $\Delta_{38} = c_1$  і  $\Delta_{39} = c_2$  — відповідно значення кутового коефіцієнта прямої і висоти на осі ординат:  $c_2 = \Delta_{39} = y_{bi} + h_1$ .

**Висновки**

1. Визначення меж (ліній) зони раціонального переміщення робочого органа маніпулятора з предметом праці необхідне для обґрунтування конструктивних параметрів його основних елементів (з розмірами ланок маніпулятора і їх рухами та позиціонуванням під час виконання переміщень робочого органа).

2. Траєкторії рухів ланок маніпулятора у межах зони раціонального переміщення його робочого органа (з предметом праці чи без нього) є необхідними для автоматизації робочих циклів маніпулятора у визначеній зоні обслуговування для досягнення його продуктивної роботи на обслуговуванні об'єктів наприклад лісопромислового складу.

**Література**

1. Бакай, Б. Я. О вопросе использования погрузочных машин на нижних складах Украины / Б. Я. Бакай // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. / под ред. Е. А. Памфилова. — Брянск: БГИТА, 2007. — Вып. 20. — С. 26—30.
2. Бакай, Б. Я. Аналіз шляхів підвищення ефективності використання маніпулятора на переміщенні сортиментів / Б. Я. Бакай // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвід. наук.-техн. зб. — Львів : УкрДЛТУ. — 2003. — Вип. 28. — С. 76—80.
3. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров: определения, теоремы, формулы / Г. Корн, Т. Корн. — 5-е изд. — Перевод со 2-го амер. переработ. изд. И. Г. Арамановича, А. М. Березмана, И. В. Ванштейна, Л. З. Румшинского, Л. Я. Цлафа — под. общ. ред. И. Г. Арамановича — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. — 833 с.
4. Фролов, С. В. Курс высшей математики, том II: учеб. пособие для вузов / С. В. Фролов, Р. Я. Шостак — изд. 2-е, переработ. и доп. — М.: Высшая школа, 1973. — 400 с.
5. Бакай, Б. Я. Формализация зоны действия гидравлических манипуляторов на лесопромышленных складах / Б. Я. Бакай // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. / под ред. Е. А. Памфилова. — Брянск: БГИТА, 2006. — Вып. 16. — С. 3—7.

**References**

1. Bakay, B. Ya. (2007). O voprose ispolzovaniya pogruzochnykh mashin na nizhnih skladah Ukrainyi [On the use of loading machines in the lower warehouses of Ukraine]. E. A. Pamfilov (Eds.), Aktualnyie problemyi lesnogo kompleksa: sb. nauch. tr. po itogam mezhdunar. nauch.-tehn. konf. — Actual problems of forestry complex: collection of scientific works based on the results of the scientific and technical conference. (pp. 26—30). Bryansk: BGITA [in Russian].
2. Bakay, B. Ya. (2003). Analiz shlyahiv pidvischennya efektyvnosti vikoristannya manipulyatora na peremishchenni sortimentiv [The analysis of ways of use of efficiency of the manipulator on moving of round sort logs]. Lisove gospodarstvo, lisova, paperova i derevoobrobna promislivost: mizhvid. nauk.-tehn. zb. — Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry interdepartmental scientific and technical research collection. (Issue 28), (pp. 76—80). Lvov: USUFWT [in Ukrainian].
3. Korn, G. & Korn, T. (1984). Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov: opredeleniya, teoremy, formuly [Mathematical handbook for scientists and engineers: definition, theorems and formulas for reference

and review]. I. G. Aramanovich (Eds.), (I. G. Aramanovich, A. M. Berezman, I. V. Vanshteyn, L. Z. Rumshinskij, & L. Ya. Tslaf, Trans). Moscow: Nauka. Main editorship of physical and mathematical literature [in Russian].

4. Frolov S. V., & Shostak R. Ya. (1973). Kurs vysshey matematiki, [The course of higher mathematics, volume II: studies. manual for technical colleges]. Moscow: High School [in Russian].

5. Bakay B. Ya. (2006). Formalizatsiya zony deystviya gidravlicheskih manipulyatorov na lesopromyshlennykh skladakh [Formalization of the area of operation of hydraulic manipulators in timber processing warehouses]. E. A. Pamfilov (Eds.). — Actual problems of forestry complex: collection of scientific works based on the results of the scientific and technical conference. (Issue 16), (pp. 3—7). Bryansk: BGITA [in Russian].

Надійшла 12.09.2018

УДК 630.3(075.8)

## Определение рациональной зоны перемещений манипулятора технологического участка

И. Р. Каратник, В. В. Кий, Б. А. Магура

**Цель.** Обоснование рациональных направлений и кратчайших расстояний перемещений стационарного манипулятора на обслуживании объектов технологического участка лесопромышленного склада.

**Методы исследования.** Модель профильных сечений верхней границы обобщенных материальных объектов технологического участка (сооружений, оборудования, буферных зон и т. п.) построено на основании аналитического описания ее элементов гладкими линейными функциями; выполнено их аппроксимацию интерполяционными множителями в виде линейной комбинации функций, создающих ограниченное множество элементов произвольного профильного сечения поверхности технологического оборудования.

**Результаты.** Разработана общая модель материальной поверхности технологического участка, над которой манипулятором осуществляется перемещения рабочим органом с объектом труда, или без него. В зависимости от направлений перемещений рабочего органа манипулятора над оборудованием участка, модель позволяет получить сечения поверхности участка, согласно которому определяется прямолинейное или рациональное перемещение рабочего органа манипулятора.

**Выводы.** Установлено, что параметры поверхности технологического оборудования участка обосновывают определение рациональной зоны перемещений рабочего органа манипулятором; траектории и расстояния перемещений рабочего органа и объекта труда манипулятором определенного типоразмера необходимы для обоснования параметров его основных элементов.

**Ключевые слова:** манипулятор, рабочий орган, поверхность технологического оборудования, ограничения движений, аппроксимация сечений поверхности, интерполяционный полином.

UDC 630.3(075.8)

## Establishment of a rational manipulator movement zone of the technological site

I. R. Karatnyk, V. V. Kiy, B. O. Mahura

**Aim.** Justification of rational directions and shortest distances of moving stationary manipulator during maintenance of objects of the chemical division of forest industrial composition.

**Methods of research.** Model of profiles of sections of the surface of material objects of a technological site (structures, equipment, buffers, etc.) is composed of an analytical representation of its elements by smooth linear functions. Approximation of such elements by interpolation factors in the form of a linear combination of functions is formed, which form the finite set of elements of arbitrary profile section of the technological equipment surface.

**Results of research.** The general model of the conditional surface of the technological section, over which the manipulator is carried out moving of the working body with the object of work, or without it, is developed. The model allows you to get surface cross sections the technological section in accordance with the directions of movement of the working body of the manipulator over the equipment of the site. The straightforward or rational movement of the working body of the manipulator determines such segments of the conditional surface of a section.

**Conclusions.** *It is established that the parameters of the surface of technological equipment of the section are the basis for determining the rational zone of movement of the working body of the manipulator. The trajectory and distance of the displacement of the working body and the subject of work by the manipulator of a certain size are necessary for substantiating the parameters of its main elements.*

**Keywords:** *manipulator, working body, surface of technological equipment, border of displacement, approximation of surface section, interpolation polynomial.*

### Відомості про авторів

**Каратник Ігор Романович**

Національний лісотехнічний університет України

Адреса: вул. Природна, 19, м. Львів, 79057, Україна, телефон +38 (095) 713-50-41

E-mail [ihor.karatnyk@nltu.edu.ua](mailto:ihor.karatnyk@nltu.edu.ua)

**Каратник Ігор Романович**

Национальный лесотехнический университет Украины

Адрес: ул. Природная, 19, г. Львов, 79057, Украина, телефон +38 (095) 713-50-41

E-mail [ihor.karatnyk@nltu.edu.ua](mailto:ihor.karatnyk@nltu.edu.ua)

**Karatnyk Igor Romanovych**

Natsionalnyi lisotekhnichniy universytet Ukrainy

Adress: vul. Pryrodna, 19, Lvov, 79057, Ukraine, contact: +38 (095) 713-50-41

E-mail [ihor.karatnyk@nltu.edu.ua](mailto:ihor.karatnyk@nltu.edu.ua)

**Кий Володимир Васильович**

Національний лісотехнічний університет України,

Адреса: вул. Природна, 19, м. Львів, 79057, Україна, телефон +38 (098) 480-52-18

E-mail: [kiy\\_vv01@yahoo.com](mailto:kiy_vv01@yahoo.com)

**Кий Володимир Васильович**

Национальный лесотехнический университет Украины

Адрес: ул. Природная, 19, г. Львов, 79057, Украина, телефон +38 (098) 480-52-18

E-mail: [kiy\\_vv01@yahoo.com](mailto:kiy_vv01@yahoo.com)

**Kiy Volodymyr Vasiliovych**

Natsionalnyi lisotekhnichniy universytet Ukrainy

Adress: vul. Pryrodna, 19, Lvov, 79057, Ukraine, contact: +38 (098) 480-52-18

E-mail: [kiy\\_vv01@yahoo.com](mailto:kiy_vv01@yahoo.com)

**Магура Богдан Олексійович**

Національний лісотехнічний університет України

Адреса: вул. Природна, 19, м. Львів, 79057, Україна, телефон: +38 (067) 664-19-18

E-mail: [magbogdan@yahoo.com](mailto:magbogdan@yahoo.com)

**Магура Богдан Алексеєвич**

Національний лісотехнічний університет України.

Адрес: ул. Природная, 19, г. Львов, 79057, Украина, телефон: +38 (067) 664-19-18

E-mail: [magbogdan@yahoo.com](mailto:magbogdan@yahoo.com)

**Magura Bogdan Oleksiovych**

Natsionalnyi lisotekhnichniy universytet Ukrainy

Adress: vul. Pryrodna, 19, Lvov, 79057, Ukraine, contact: (067) 664-19-18

E-mail: [magbogdan@yahoo.com](mailto:magbogdan@yahoo.com)