

**ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МАНИПУЛЯТОРА НА  
ОБСЛУЖИВАНИИ УЧАСТКА ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО СКЛАДА**

**Каратник И. Р., доц., к.т.н., Бакай Б. Я., доц., к.т.н., Кий В. В. доц., к.т.н.**

Национальный лесотехнический университет Украины

(Львов, Украина), bakay@nltu.edu.ua

**THE SUBSTANTIATION OF MOVING THE MANIPULATOR ON THE OPERATIONS  
OF A SECTION OF A TIMBER INDUSTRIAL WAREHOUSE**

**Ihor Karatnyk, Assoc. Prof., PhD, Bakay B. Ya., Assoc. Prof., PhD,**

**Kyi V. V. Assoc. Prof., PhD**

Ukrainian National Forestry University

(Lviv, Ukraine)

Proposed method of defining supposed surface profiles of technological equipment, above which the shortest displacement of manipulator with cargo is possible. The parameters of the conditional surface of the process equipment in the service area of the manipulator define the optimal or shortest trajectories of the manipulator's movement. The trajectories of movements of the manipulator determine the movement of its component elements, which creates the prerequisites for the automation of its work cycles in the service area and contributes to the achievement of productive work of the manipulator on objects, for example, a timber industrial warehouse.

**Актуальность.** Производственная деятельность лесопромышленных предприятий связана с перемещением больших объемов различных по виду, состоянию и весу грузов [1-2]. На сегодняшний день основными погрузочно-штабелирующими средствами на лесопромышленных складах служат консольно-козловые и башенные краны, с применением ручного труда на загрузке и отгрузке грузов, что уменьшает производительность труда [2-5]. Существующий опыт подтверждает, что проблема перемещения лесоматериалов успешно решается с использованием гидравлических манипуляторов, оборудованных грейферными захватами. Такие механизмы обеспечивают, как полную механизацию погрузочно-штабелирующих работ на лесопромышленных складах, так и, благодаря универсальности и высокой мобильности, широкий спектр различных переместительных операций. В связи с этим, актуальной является задача всестороннего исследования операций перемещения груза на лесопромышленных складах и движения отдельных элементов манипуляторов.

**Постановка проблемы.** Оптимальной траекторией движения рабочего органа манипулятора рассматривается прямая линия между начальным и конечным пунктом его перемещения. Приближенное к этой траектории перемещение возможно, если оно будет происходить над производственными объектами и оборудованием технологического участка лесопромышленного склада, т. е. над условной поверхностью, траекториями, которые менее всего отличаются от прямолинейных и без взаимодействия с иными технологическими объектами, например раскрывочного узла, подштабельного места или транспортера.

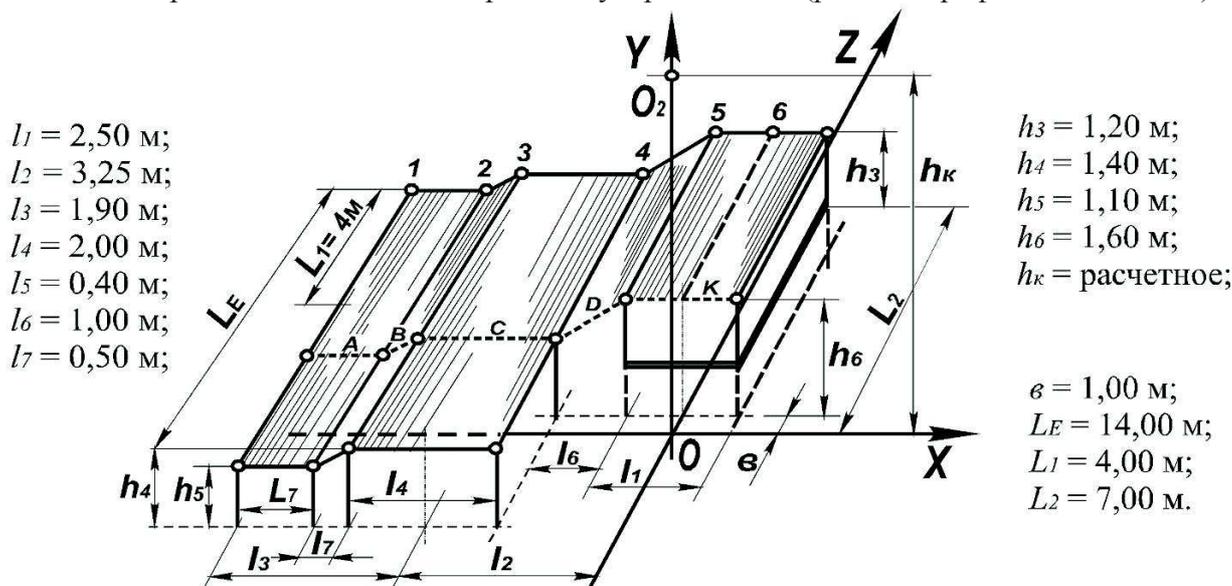
**Анализ известных исследований и постановка задачи.** Описание условной поверхности оборудования для ограничения перемещения манипулятором рабочего органа с грузом может быть представлено аппроксимацией реально замеренных или проектных высот технологических объектов, считая, что этому множеству действительных чисел  $\{1, 2, \dots, n\}$ , будет определена некоторая действительная функция, которая описывает профиль условной поверхности для произвольного ее сечения. Аппроксимация такой поверхности может выполняться определением функции двух переменных  $\Psi(x, y)$ , и в таких случаях принимается в виде линейной комбинации законченного множества  $\{\psi_i(x, y)\}$  функций, линейно независимых, которые отвечают профильным участкам поверхности:

$$\Psi(x, y) = A_0\psi_0(x, y) + A_1\psi_1(x, y) + \dots + A_n\psi_n(x, y), \quad (1)$$

где  $A_i$  ( $i=0, 1, \dots, n$ ) – постоянные коэффициенты полинома.

Наличие произвольного профиля условной поверхности технологического оборудования не отображает направлений рабочих траекторий манипулятора, которые зависят от расположения объектов зоны его обслуживания. Поэтому профилирование условной поверхности оборудования в направлениях рабочих перемещений манипулятора необходимо для установления таких перемещений наименьшей длины, что и будет определять его производительность.

**Основной материал.** Ближайшее описание условной поверхности с характерными признаками “рельефа” может быть выполнено интерполяцией, которая заключается в том, что коэффициенты  $A_i$  ( $i = 0, 1, \dots, n$ ) полинома (1) подбираются так, чтобы в точках  $X_i$  ( $i = 0, 1, \dots, n$ ) значения функции  $\Psi(x, y)$  совпадали с профилем поверхности, например с нормальным сечением поверхности плоскостью перпендикулярно оси  $OZ$  (рис. 1 – профиль А-В-С-D-К).



**Рисунок 1 – Схема поверхности технологического оборудования участка с манипуляторным обслуживанием**

Профиль условной поверхности может быть построен в координатах  $XOY$ , который остается одинаковым для всех значений  $Z_i(x_i, y_i)$ . Для таких условий аппроксимирующая функция (1) представляется в виде:

$$Y_0 = a_0 \varphi_0(x) + a_1 \varphi_1(x) + \dots + a_n \varphi_n(x), \quad (2)$$

где  $a_i$  ( $i = 0, 1, \dots, n$ ) – постоянные коэффициенты полинома (2).

Согласно рисунку 2 отрезки профиля поверхности в общем виде такие:

$$y_a = k_1 x + \epsilon_1; y_b = k_2 x + \epsilon_2; y_c = k_3 x + \epsilon_3; y_d = k_4 x + \epsilon_4; y_k = k_5 x + \epsilon_5. \quad (3)$$

На основании реальных размеров эстакады деревообрабатывающего участка ДП “Маневицкий лесхоз” (таблица 1) определены отрезки профиля поверхности участка ( $X_1 - X_6$  (рисунок 2)):

$$y_A = -(x + 2,75); y_B = -(1,2x + 3,7); y_C = -(0,05x + 1,612); y_D = 0,1x + 1,725. \quad (4)$$

**Таблица 1 – Ведомость параметров профиля поверхности оборудования**

<b>x, м</b>	$x_1 = 5,15$	$x_2 = 4,75$	$x_3 = 4,25$	$x_4 = 2,25$	$x_5 = 1,25$	$x_6 = 0$
<b>y, м</b>	$y_1 = 2,4$	$y_2 = 2,0$	$y_3 = 1,4$	$y_4 = 1,5$	$y_5 = 1,6$	$y_6 = 1,8$

Профили поверхности оборудования, над которыми перемещается рабочий орган с грузом (сортиментом) манипулятором устанавливаются трансформацией нормального профиля плоскости  $S(x; y; o)$  путем изменения координат т. 1 (рисунок 2) со значением т.  $O_1(z; x) = т. O_1(4; 0)$  – согласно размеров оборудования и поворотом на угол  $\beta_i$  позиции укладки отдельных сортиментов на эстакаде деревообрабатывающего участка.

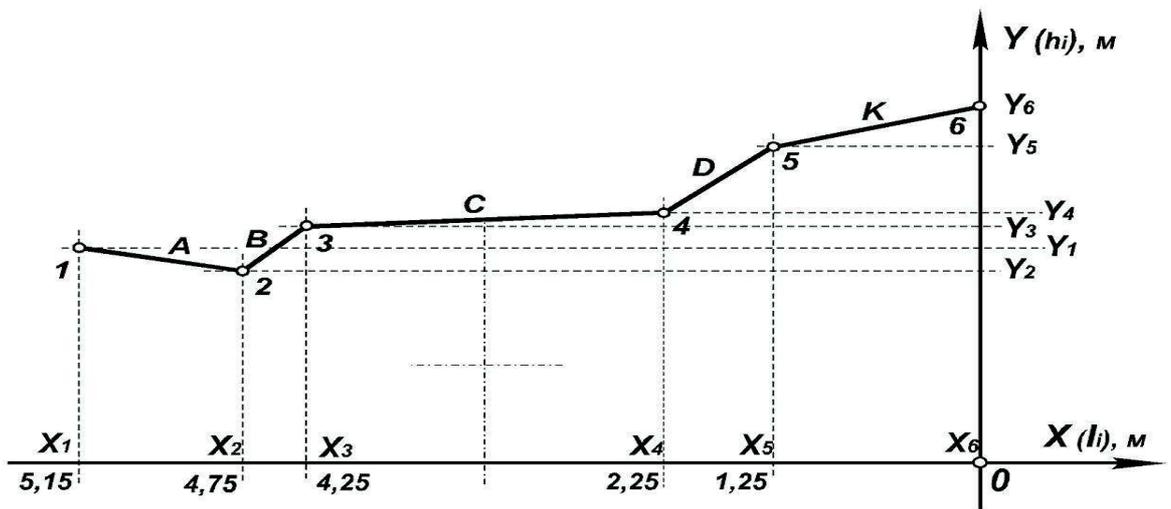


Рисунок 2 – Представление профильных размеров поверхности технологического оборудования

При этом ординаты профиля поверхности в координатах  $XOY$  не изменяются. Угол поворота профиля поверхности  $\beta_i$  в координатах  $XOY$  определяется, например поворотом отдельных отрезков профиля  $y_A = f_1(x)$ ;  $y_B = f_2(x)$ ;  $y_C = f_3(x)$ ;  $y_D = f_4(x)$ ;  $y_K = f_5(x)$ , и их параллельным сдвигом последовательно в отдельные позиции  $(1-\alpha_1)$ ,  $(1-\alpha_2)$ ,  $(1-\alpha_3)$ ,  $(1-\alpha_4)$ ,  $(1-\alpha_5)$  – определенные позициями  $\alpha_i$  (рис.3). В общем виде такие трансформации записываются в новых координатах  $Z_iO_iX_i$  следующим:

$$\begin{cases} X_i = (Z - Z_0) \cos \beta_i + (Y - Y_0) \sin \beta_i, \\ Y_i = (Z - Z_0) \sin \beta_i + (Y - Y_0) \cos \beta_i. \end{cases} \quad (5)$$

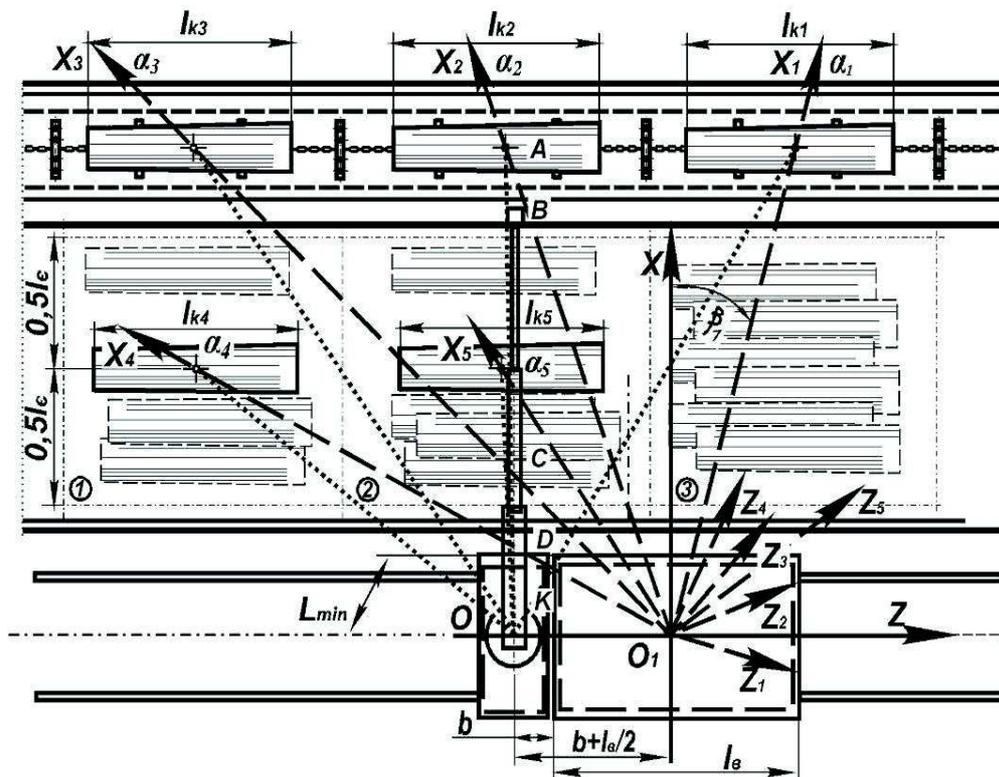


Рисунок 3 – Схема определения траекторий движения манипулятора в зоне эстакады деревообрабатывающего участка:

$A, B, C, D, K$  – отрезки поперечного профиля поверхности оборудования;  
 $\alpha_1 \dots \alpha_6$  – позиции укладки сортиментов

Уравнение отрезков  $l_A, l_B, l_C, l_D, l_K$ , линий профиля оборудования в координатах  $Y_1O_1X_i$  изменяются, поскольку значение аргумента изменяется на размер  $(l_i/\cos \beta_i - l_i)$ , или реально удлиняются на множитель  $(1/\cos \beta_i)$ . Если для всех линий профиля поверхности из множества  $\{l_A \sim l_K\}$  в соответствующих координатах  $Y_1O_1X_i$  такие множители постоянны, то верно:

$$\begin{aligned} y_A &= (x_i - 2,75)/\cos \beta_i; & y_B &= (1,2x_i - 3,70)/\cos \beta_i; & y_C &= (0,05x_i - 1,612)/\cos \beta_i; \\ y_D &= (0,1x_i - 1,725)/\cos \beta_i; & y_K &= (0,16x_i - 1,80)/\cos \beta_i. \end{aligned} \quad (6)$$

При этом определение угла  $\beta_i$  ( $i = 1 \dots 5$ ) линии профиля поверхности оборудования выполняется в координатах  $\{Z_iO_1X_i\}$ :

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \arctg \frac{l_B - l_{K_1}}{2(l_2 + l_3)}; & \beta_2 &= \arctg \frac{2l_{K_1} + l_{K_2} - l_B}{2(l_2 + l_3)}; & \beta_3 &= \arctg \frac{2l_{K_1} + 2l_{K_2} + l_{K_3} - l_B}{2(l_2 + l_3)}; \\ \beta_4 &= \arctg \frac{2l_{K_1} + 2l_{K_2} + 2l_{K_3} + l_{K_4} - l_B}{2(l_2 + l_3)}; & \beta_i &= \arctg \frac{2(l_{K_1} + l_{K_2} + \dots + l_{K_{(i-1)}}) + l_{K_i} - l_B}{2(l_2 + l_3)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Для линий профиля поверхности в координатах  $\{Z_iO_1X_{ij}\}$ , и для произвольных составляющих этих линий  $\{y_i = f_i(\alpha), i = A, B, C, D, K \dots N\}$ , определяется:

$$y_i = f_i(x) / \cos(\arctg \frac{2(l_{K_1} + \dots + l_{K_{(i-1)}}) + l_{K_i} - l_B}{2(l_2 + l_3)}), \quad (8)$$

или: 
$$y_{ij} = \gamma_j f_i(\alpha), \text{ для } \{i = A, B, C, D, K\}, \quad (9)$$

откуда получается значение координационного множителя:

$$\gamma = (\cos(\arctg \frac{2(l_{K_1} + \dots + l_{K_{(i-1)}}) + l_{K_i} - l_B}{2(l_2 + l_3)}))^{-1} = (\cos(\arctg(\frac{l_{K_1} + \dots + l_{K_{(i-1)}}}{M} + \frac{l_{K_i}}{2M} - C)))^{-1},$$

для  $M = (l_2 + l_3) = const$ ;  $C = l_B/2M = const$ , что фактически приводит к изменению углового коэффициента и постоянных в зависимостях  $y_i = f_i(x)$  для фиксированных из множества профильных сечений условной поверхности технологического оборудования.

### Выводы.

1. Параметры условной поверхности технологического оборудования в зоне обслуживания манипулятора определяют оптимальные или кратчайшие траектории перемещения рабочего органа манипулятором.

2. Траектории движений манипулятора определяют перемещение его звеньев, что создает предпосылки для автоматизации его рабочих циклов в зоне обслуживания и способствует достижению производительной работы манипулятора на объектах, например лесопромышленного склада.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков, А. В. Проектирование лесопромышленного оборудования: [учеб. для вузов по спец. "Машины и оборуд. лесн. Комплекса"] / А. В. Жуков. – Минск: Вышэйш. шк., 1990. – 311 с. ISBN 5-339-00362-0.

2. Бакай, Б. Я. Формализация зоны действия гидравлических манипуляторов на лесопромышленных складах / Б. Я. Бакай // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. / Под ред. Е. А. Памфилова. – Брянск : БГИТА, 2006. – Вып. 16. – С. 3–7.

3. Ловейкін, В. С. Моделювання динаміки механізмів вантажопідйомних машин / В. С. Ловейкін, Ю. В. Човнюк, М. Г. Діктерук, С. І. Пастушенко. – К. : – Миколаїв : РВВ МДАУ, 2004. – 286 с.

4. Корендясев, А. И. и др. Манипуляционные системы роботов / А. И. Корендясев, Б. Л. Саламандра, Л. И. Тывес; Под ред. А. И. Корендясева. – М. : Машиностроение, 1989. – 471 с.

5. Luh J. On-Line Computational Scheme for Mechanical Manipulators / J. Luh, M. Walker, R. Paul // ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 102(2). – 1980. – P.69-76.