

УДК 621.873

Визначення геометричних параметрів маніпулятора за характеристиками робочого середовища

Дмитро Міщук¹, Євгеній Горбатюк², Володимир Волянук³

Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський проспект 31, Київ, Україна, 03680

¹mischuk.do@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8263-9400>

²gek_gor@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8148-5323>

³volian535@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6852-9037>

Received: 25.09.2019; Accepted: 04.12.2019

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0201>

Анотація. Застосування промислової робототехніки в будівництві висуває ряд жорстких і суперечливих вимог, зокрема, при високій швидкодії необхідно забезпечувати задану плавність руху та високу точність відпрацювання, а при мінімальних масі та габаритних розмірах виконавчих механізмів бажають отримувати найвищу продуктивність та ефективність функціонування робота. При цьому підвищення точності зазвичай пов'язано зі збільшенням маси і моментів інерції рухомих частин, а підвищення швидкодії досягається розміщенням потужних привідних механізмів на рухомих ланках роботів, що значно їх навантажує тим самим знижуючи корисне навантаження промислового робота.

Одним із ключових факторів ефективного застосування роботів є оптимальний підбір параметрів для виконання конкретного завдання, а це потребує додаткових досліджень оскільки наукових робіт де чітко відображаються взаємозв'язки між робочим середовищем та роботом немає. Для використання роботів у будівництві необхідно мати чітку модель розуміння функціонування даних систем в заданих технологічних умовах, позаяк на основі цього буде здійснюватися оптимальний підбір агрегатів та виконуватиметься конструювання основних вузлів та механізмів робота.

Метою даної роботи є встановлення впливу заданого робочого середовища на вибір геометричних параметрів дволанкового маніпулятора. В роботі представлено залежності за допомогою яких можна оцінити енергетичні показники маніпулятора, які залежатимуть від його геометричних розмірів.

В дослідженні було використано методи геометричної подібності та аналітичної алгебри,

рівняння Лагранжа 2-го роду та відомі оптимальні закони руху, які є коректними для вантажопідійомних машин.

Ключові слова: маніпулятор; рівняння Лагранжа; синтез ланок маніпулятора; привідний момент маніпулятора; будівельний робот.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ В ЗАГАЛЬНОМУ ВИДІ

Роботизація та автоматизація процесів будівельного виробництва є невідворотним явищем в сучасних світових економічних реаліях [1]. Дослідження сучасного стану автоматизації будівельного виробництва показує, що за останні роки в світі значно зросли об'єми земляних, монтажних і облицювальних робіт [2-4], що неминуче призвело до збільшення енергооснащення підприємств, які займаються даними видами будівельних робіт. При цьому подібне зростання характеризується не лише кількісними параметрами, але й якісними, зокрема значно підвищився попит на закупівлю роботизованих систем для будівельної галузі [5-6].

Досвід закордонних компаній показав ефективність застосування роботів у будівельному виробництві, проте вітчизняний ринок сильно програє, що матиме негативні наслідки в подальшому.

Для використання роботів у будівництві необхідно мати чітку модель розуміння функціонування даних систем в заданих технологічних умовах, зокрема необхідно

знати взаємозв'язки між механічною системою робота і робочим середовищем, оскільки на основі цього буде здійснюватися оптимальний підбір агрегатів та виконуватиметься конструювання основних вузлів та механізмів робота. Відсутність знань в даному напрямі може призвести до ситуацій, коли вибрана система буде функціонувати зі значними витратами на її обслуговування або взагалі застосування матиме низьку ефективність.

Однією із важливих задач в робототехніці є пошук оптимальних кінематичних структур маніпуляторів для заданих технологічних умов роботи та їх синтез [7]. Зокрема відсутні чіткі рекомендації по проектуванню геометричних параметрів маніпуляторів під задані технічні умови робочого процесу.

Таким чином актуальна тематика сучасних досліджень направлена на визначення взаємозв'язків між параметрами маніпулятора та робочої зони його обслуговування.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

В роботі [7] показано, що однією з поширених і універсальних конструкцій маніпуляторів для будівництва є конструкції з шарнірно-зчленованою стрілою з двома рухомими ланками в площині зміни вильоту, які цілком забезпечують рухомість робочого органу.

Серед загальновідомих [8-10] методів побудови математичних моделей маніпуляторів, в яких стріла представлена, як головна механічна система, що рухається в однорідному просторі, відсутні методики, що дозволяють аналізувати зв'язок механічної системи та робочого простору.

В роботі [11] побудовано математичну модель маніпулятора де, в залежності від зміни координат робочого органу, визначаються сигнали керування, проте не відомо як розміри ланок такої схеми впливатимуть на ефективність її роботи.

Відомо [12], що для заданої схеми маніпулятора існують області їх ефективної роботи, проте чітко не описано, яким чином визначати параметри маніпулятора.

Існує значна кількість робіт [9, 10, 13-15] де описана кінематика маніпулятора та методи побудови їх робочих зон. Проте не відомо, як здійснювати оптимальний підбір геометричних параметрів маніпулятора під задану робочу зону обслуговування.

Раніше [16-18] було описано процес підвищення ефективності функціонування шарнірно-зчленованих систем роботів, тому дане дослідження базуватиметься на відомих фактах, а основна увага приділятиметься впливу робочого середовища маніпулятора на його кінематичну схему.

МЕТА РОБОТИ

Проаналізувати та дослідити закономірності впливу геометричних параметрів робочого середовища на кінематичну схему дволанкового маніпулятора.

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження було проведено для відомої системи дволанкового маніпулятора будівельного робота з шарнірно-зчленованою стрілою [19], кінематична схема якого представлена на Рис. 1. Дана система маніпулятора має два степені рухомості, які визначаються кутами повороту α та β для ланок стріли.

На Рис. 1 також зображено робочу зону, що обслуговуватиме даний маніпулятор, яка має форму прямокутника висотою H та довжиною L .

Для визначення розмірів ланок l_1 та l_2 даного маніпулятора, які забезпечуватимуть обслуговування всіх точок заданого робочого простору пропонується на початковому етапі встановити геометричний взаємозв'язок між його ланками та заданою робочою зоною обслуговування.

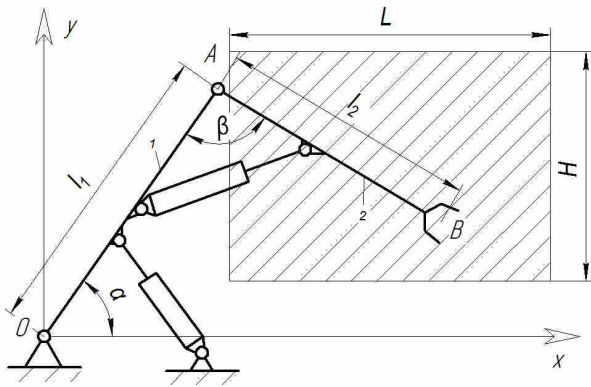


Рис. 1. Кінематична схема дволанкового маніпулятора з гідравлічним приводом, яка досліджується

Fig. 1. Kinematic scheme of the two-arm manipulator with hydraulic drive under study

Радіус-вектор точки B захоплювача відносно точки повороту першої ланки маніпулятора, що прийнята за початок координат, можна визначити за Рис. 2, виходячи з теореми косинусів:

$$\rho_{\max}^2 = l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos \beta_{\max}; \quad (1)$$

$$\rho_{\min}^2 = l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos \beta_{\min}, \quad (2)$$

де $\beta_{\max}$ та $\beta_{\min}$ – максимальне та мінімальне значення кута між ланками l_1 та l_2 .

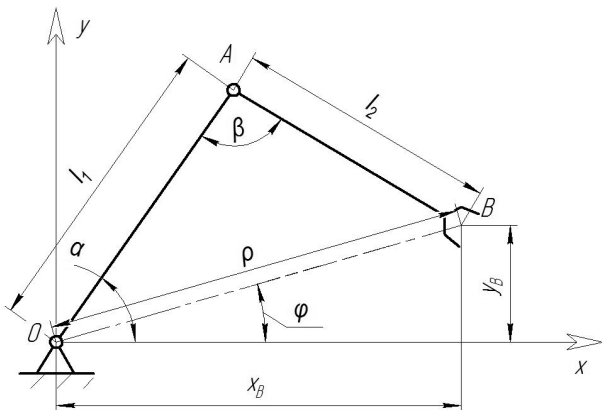


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення довжини ланок дволанкового маніпулятора

Fig. 2. The calculation scheme for determining the length of the links of the two-link manipulator

За Рис. 3 максимальні та мінімальні розміри радіус-вектору ρ точки B захоплювача

маніпулятора можуть бути прив'язані до заданої робочої зони:

$$\rho_{\max} = \frac{x_0 + L}{\cos \varphi_1}, \quad \rho_{\min} = \frac{x_0}{\cos \varphi_2}, \quad (3)$$

де

$$\varphi_1 = \arctan \left(\frac{y_0 + H}{x_0 + L} \right), \quad \varphi_2 = \arctan \left(\frac{y_0}{x_0} \right);$$

H та L – розміри зони обслуговування; x_0 та y_0 – початкові координати (див. Рис. 3) заданої зони обслуговування відносно точки повороту ланки l_1 , яка приймається за початок координат для даного маніпулятора.

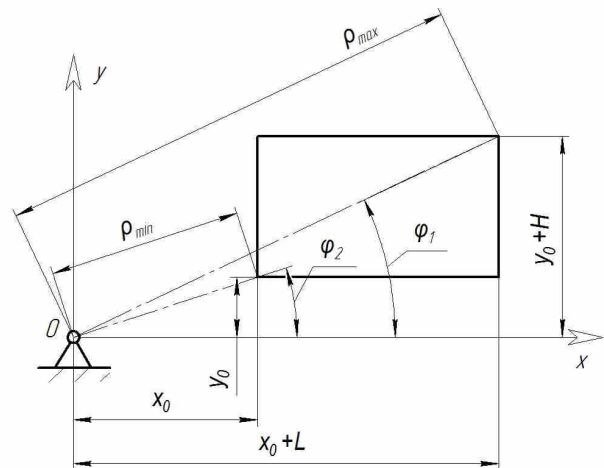


Рис. 3. Параметри робочої зони

Fig. 3. The parameters of the work area

З аналізу виразів (1) та (2) стає зрозуміло, що розмірам ланок l_1 та l_2 , які будуть забезпечувати обслуговування заданої робочої зони, повинен відповідати деякий діапазон зміни кута β , що визначиться з наступних міркувань:

$$\rho_{\max}^2 - \rho_{\min}^2 = 2l_1l_2(\cos \beta_{\min} - \cos \beta_{\max}) \quad (4)$$

або

$$l_2 = \frac{\rho_{\max}^2 - \rho_{\min}^2}{2l_1(\cos \beta_{\min} - \cos \beta_{\max})} = \frac{C_1}{l_1}, \quad (5)$$

де прийнято наступне позначення

$$C_1 = \frac{\rho_{\max}^2 - \rho_{\min}^2}{2(\cos\beta_{\min} - \cos\beta_{\max})}.$$

Підставивши вираз (5) в рівняння (2), отримаємо

$$\rho_{\min}^2 = l_1^2 + \frac{C_1^2}{l_1^2} - 2l_1C_1 \cos\beta_{\min} \quad (6)$$

або

$$l_1^2 + \frac{C_1^2}{l_1^2} = A_1, \quad (7)$$

де прийнято наступне позначення

$$A_1 = \rho_{\min}^2 + 2l_1C_1 \cos\beta_{\min}.$$

Після спрощення виразу (7) було знайдено наступне квадратне рівняння:

$$x_1^2 - A_1x_1 + C_1^2 = 0, \quad (8)$$

де $x = l_1^2$.

З аналізу квадратного рівняння (8) відомо, що

$$A_1^2 - 4C_1^2 \geq 0 \text{ або } A_1 \geq 2C_1. \quad (9)$$

З нерівності (9) стає зрозуміло наступне:

$$\cos\beta_{\min}(K_1 - 1) \leq \rho_{\min}^2, \quad (10)$$

$$\text{де } K_1 = \frac{\rho_{\max}^2 - \rho_{\min}^2}{\cos\beta_{\min} - \cos\beta_{\max}}.$$

Отже, теоретично було встановлено взаємозв'язок між максимальним і мінімальним значеннями кута β так, що його мінімальне значення для даного механізму повинно задовольняти наступну вимогу:

$$\beta_{\min} \leq \arccos \left(\frac{\frac{\rho_{\min}^2 \cos\beta_{\max}}{\rho_{\max}^2 - \rho_{\min}^2} + 1}{\frac{\rho_{\min}^2}{\rho_{\max}^2 - \rho_{\min}^2} + 1} \right). \quad (11)$$

Довжина ланки l_1 буде визначатися з виразу

$$l_1 = \pm \sqrt{\frac{A_1 \pm \sqrt{A_1^2 - 4C_1^2}}{2}}. \quad (12)$$

Отже, за формулами (5) та (12) можна розрахувати загальні геометричні параметри стріли дволанкового маніпулятора, для заданої робочої зони, задаючи граничні значення кута повороту β із дотриманням співвідношення (11). Таке рішення не є однозначним, оскільки воно не дозволяє оцінити оптимальний варіант вибору довжини ланок, зокрема для різних діапазонів кута β буде різна кількість варіантів вибору параметрів довжин, які однозначно будуть підходити для заданої робочої зони.

Для оцінки вибраних параметрів ланок, запропоновано дослідити характер зміни витрат енергії заданого дволанкового маніпулятора за величиною загальної механічної роботи [20], тобто:

$$\sum E = \int_{\alpha n}^{\alpha k} M_1(t) d\alpha + \int_{\beta n}^{\beta k} M_2(t) d\beta, \quad (13)$$

де $\alpha n, \alpha k, \beta n, \beta k$ – початкові та кінцеві значення кутів повороту ланок; $M_1(t)$ та $M_2(t)$ – необхідні рушійні моменти сил на заданих діапазонах переміщення, які діють окремо на першу та другу ланки.

Із рівняння Лагранжа 2-го роду визначено [18, 20]:

$$\begin{aligned} M_1(t) = & l_1 l_2 (m_2 + 2m_3) \sin(\beta) \dot{\alpha} \dot{\beta} + \\ & + \frac{1}{4} (2(G_1 + 2(G_2 + G_3)) l_1 \cos \alpha - \\ & - 2(G_2 + 2G_3) l_2 \cos(\alpha + \beta) + \\ & + 2l_1 l_2 (m_2 + 2m_3) \sin \beta \dot{\beta}^2 + (4J_{01} + \\ & + 4J_{2c} + 4l_1^2 (m_2 + m_3) + l_2^2 (m_2 + \\ & + 4m_3) - 4l_1 l_2 (m_2 + 2m_3) \cos \beta) \ddot{\alpha} + \\ & + (4J_{2c} + l_2^2 (m_2 + 4m_3) - \\ & - 2l_1 l_2 (m_2 + 2m_3) \cos \beta) \ddot{\beta}); \end{aligned} \quad (14)$$

$$M_2(t) = \frac{1}{4}(-2(G_2 + 2G_3)l_2 \cos(\alpha + \beta) - 2l_1l_2(m_2 + 2m_3)\sin\beta\dot{\alpha}^2 - 2l_1l_2(m_2 + 2m_3)\cos\beta\ddot{\alpha} + (4J_{2c} + l_2^2(m_2 + 4m_3))(\ddot{\alpha} + \ddot{\beta})), \quad (15)$$

де $G_1 = m_1g$, $G_2 = m_2g$, $G_3 = m_3g$ – сили ваги відповідно першої та другої ланки стріли маніпулятора і вантажу, Н; m_1 , m_2 , m_3 – маси ланок і вантажу, кг; $J_{01} = \frac{m_1l_1^2}{3}$

та $J_{2c} = \frac{m_2l_2^2}{12}$ – моменти інерції ланок, кг·м²;

$\dot{\alpha}$ та $\dot{\beta}$ – кутові швидкості ланок, рад/с; $\ddot{\alpha}$ та $\ddot{\beta}$ – кутові прискорення ланок, рад/с².

Як видно з рівнянь (14) та (15), привідні моменти залежатимуть від законів переміщення ланок.

В даному дослідженні було використано відомий динамічний закон зміни узагальнених координат [20], для якого швидкість змінюватиметься за параболічною залежністю, а прискорення – за лінійною:

$$\alpha(t) = \alpha n - \frac{2(\alpha k - \alpha n)t}{T} + \frac{3(\alpha k - \alpha n)t}{T}; \quad (16)$$

$$\beta(t) = \beta n - \frac{2(\beta k - \beta n)t}{T} + \frac{3(\beta k - \beta n)t}{T}, \quad (17)$$

де T – проміжок часу протягом якого відбувається переміщення ланок.

Початкове та кінцеве значення кута повороту α при заданій зоні обслуговування та відомих розмірах ланок l_1 і l_2 в залежності від кута β буде:

- при $\beta n = \beta_{\max}$

$$\alpha n = \varphi_1 + \arcsin\left(\frac{l_2 \sin\beta_{\max}}{\sqrt{(x_0 + L)^2 + (y_0 + H)^2}}\right); \quad (18)$$

- при $\beta k = \beta_{\min}$

Таблиця 1. Результати комп'ютерного моделювання в програмі Mathematica 10

Table 1. Results of computer simulation in Mathematica 10

Конфігурація 1				Конфігурація 2				Конфігурація 3			
$l_1=4,127$ м; $l_2=3,967$ м;				$l_1=4,255$ м; $l_2=4,092$ м;				$l_1=5,721$ м; $l_2=5,204$ м;			
M_1 , Н·м	M_2 , Н·м	α , рад	β , рад	M_1 , Н·м	M_2 , Н·м	α , рад	β , рад	M_1 , Н·м	M_2 , Н·м	α , рад	β , рад
53929,4	15951,6	0,61	2,97	51466,8	17344,7	0,78	2,62	44019,5	20796,5	1,22	1,66
53344,3	16110,2	0,63	2,92	50795,9	17426,3	0,79	2,58	43456,3	20887,6	1,23	1,63
52001,8	16481,9	0,69	2,79	49194,0	17567,3	0,84	2,46	41970,7	20723,5	1,25	1,56
49719,8	16850,3	0,77	2,59	46597,7	17647,8	0,92	2,29	39594,7	20299,9	1,28	1,46
46284,7	17026,6	0,89	2,34	42927,9	17556,7	1,01	2,08	36369,1	19603,1	1,32	1,33
41578,9	16912,5	1,01	2,06	38181,9	17235,9	1,12	1,84	32384,2	18637,8	1,36	1,18
35681,0	16506,6	1,15	1,76	32502,5	16687,3	1,23	1,58	27809,5	17442,8	1,41	1,03
28914,5	15870,6	1,28	1,46	26206,6	15958,6	1,35	1,32	22903,8	16097,1	1,46	0,87
21826,1	15094,6	1,41	1,18	19765,2	15127,8	1,45	1,08	18001,8	14716,3	1,50	0,73
15100,1	14289,3	1,52	0,93	13741,9	14300,5	1,55	0,87	13483,4	13444,7	1,54	0,60
9446,5	13600,0	1,61	0,74	8718,1	13614,0	1,62	0,69	9737,0	12443,9	1,58	0,49
5516,6	13211,4	1,66	0,61	5235,7	13233,1	1,67	0,58	7132,7	11880,0	1,60	0,43
3876,2	13315,0	1,69	0,56	3779,7	13322,5	1,69	0,54	6014,3	11909,2	1,60	0,40

$$\alpha_k = \varphi_2 + \arcsin \left(\frac{l_2 \sin \beta_{\min}}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \right). \quad (18)$$

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Для практичного моделювання маніпулятора було прийнято наступні параметри робочої зони та розглянутої механічної системи: $L = 5$ м; $H = 3$ м; $x_0 = 2$ м; $y_0 = 1$ м; $m_1 = 800$ кг; $m_2 = 500$ кг; $m_3 = 200$ кг; $T = 6$ с.

В Таблиці 1 представлено результати розрахунків для трьох варіантів кінематичної схеми, яка забезпечує переміщення робочого органу в заданій робочій зоні.

За отриманими даними проаналізовано характер зміни витрат енергії (див. Рис. 4) механічною системою маніпулятора для її трьох різних конфігурацій, які забезпечують виконання однакової роботи, а саме переміщення вантажу з положення із координатами (x_0+L, y_0+H) – крайня верхня точка заданої робочої зони, в положення із

координатами (x_0, y_0) – крайня нижня точка заданої робочої зони.

АНАЛІЗ І КРИТИКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Отримані результати свідчать про те, що вибір розмірів ланок маніпулятора в подальшому впливатиме на ефективність роботи даної механічної систем. Зокрема, як видно на графіку (Рис. 4), при виборі схеми з конфігурацією 3, можна в заданому робочому просторі значно мінімізувати витрати енергії, причому дані свідчать, що існують такі конфігурації маніпулятора, які дозволяють при певних умовах отримувати приріст енергії, а не витрачати її на виконання поставленого завдання.

В дослідженні було застосовано режими руху (16) та (17) не оптимізовані під задану конструкцію маніпулятора, як в працях [20, 21], проте це не стосувалося даного дослідження і не матиме значного впливу на загальну картину.

При дослідженні зміни потужності в

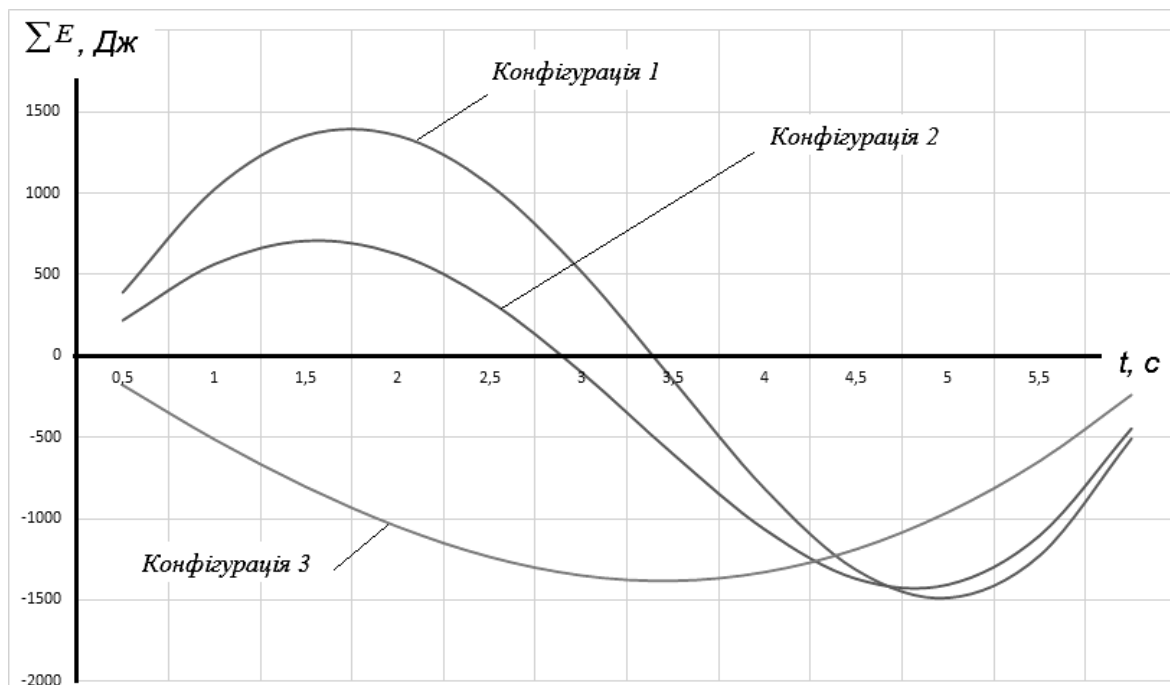


Рис. 4. Графік залежності зміни функції виконання механічної роботи дволанковим маніпулятором при переміщенні вантажу на відстань 5,8 м

Fig. 4. The graph of dependence of function change of performance of mechanical work by a two-link manipulator at moving of cargo on distance of 5,8 m

приводі дволанкового маніпулятора, залежності їх зміни матимуть аналогічний характер, що представлений на Рис. 4.

ВИСНОВКИ

При роботизації будівельних процесів важливо спочатку розробити технічні вимоги до робота з урахуванням особливостей будівництва. Необхідно вірно враховувати форму, габаритні розміри робочої зони та маси конструкцій, які переміщуються. На основі цих даних розраховуються оптимальні параметри будови будівельного робота.

В результаті проведеного дослідження отримано практичну реалізацію, яка дозволяє розроблювати методики синтезу механічних систем дволанкових маніпуляторів в умовах, коли відомо лише геометричні параметри його робочої зони обслуговування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шагина Е. С. Роботизация как метод повышения безопасности строительного производства / Е. С. Шагина // Строительство уникальных зданий и сооружений – 2014. – 6(21), – С.129-136. <https://readera.ru/14322126>
2. Васьковский А. М. Строительные работы: реальность и перспективы / А. М. Васьковский // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. – 2012. – №2. – С. 79-83.
3. Вильман Ю. А. Дистанционно управляемые манипуляторы / Ю. А. Вильман, М. А. Степанов // Механизация строительства. – 2006, – № 1, – С. 3-8
4. Жигалов К. Ю. Модели движения строительной техники в процессах автоматизации строительства объектов / К. Ю. Жигалов, Ш. И. Сюняев // Актуальные инновационные исследования: наука и практика. – 2013. – № 3. – С. 5.
5. Robotics in the construction industry: state of the art and future opportunities / Carra Gu., Argiolas Alf., Bellissima Ales., Niccolini M., Ragaglia M. // 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC2018). – July 2018. – Berlin. <https://doi.org/10.22260/ISARC2018/0121>.
6. Mantha Bharadwaj R. K. Robotic data collection and simulation for evaluation of building retrofit performance / Bharadwaj R. K. Mantha, Carol C. Menassa, Vineet R. Kamat // Automation in Construction. – Vol. 92, – 2018, – P.88-102. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.026>.
7. Вильман Ю. А. Основы роботизации в строительстве / Ю.А. Вильман. – М.: Высш. школа. – 1989. – 271 с.
8. Лелянов Б. Н. Математическая модель многосвязного объекта типа «робот-манипулятор» / Б. Н. Лелянов, Е. А. Шелянок – Хабаровск: Электронное научное издание – Ученые заметы ТОГУ, – 2011. – Том 2, №1. – С.10-15.
9. Заблонский К. И. Оптимальный синтез схем манипуляторов промышленных роботов / К. И. Заблонский, Н. Т. Монашко, Б. М. Щецин – Киев «Техника», – 1989 – 148 с.
10. Кобринский А. А. Манипуляционные системы роботов / А. А. Кобринский, А. Е. Кобринский. – М.: Наука, – 1985 – 343 с.
11. Ловейкін В. С. Математичне моделювання зміни вільноти вантажу маніпулятором з гідроприводом / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини. – 2012. – № 79. – С. 9-15.
12. Ловейкін В. С. Области збереження енерговитрат у вантажних маніпуляторах на транспортних засобах / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини. – 2010. – № 75 – С. 37-42.
13. Добрачев А. А. Исследование кинематики работы звеньев манипулятора в обобщенном виде / А. А. Добрачев, Р. Т. Раевская, А. В. Швеца // Лесоинженерное дело. – 2008. – №3. – С. 118-121.
14. Хасайн А. А. А. Рациональный выбор параметров звеньев манипулятора робота на основе анализа статических и динамических характеристик / А. А. А. Хасайн // Автореферат диссертации. – 2002, – Санкт-Петербург. – 20 с.
15. Rongbo Zhao. Inverse kinematic solution of 6R robot manipulators based on screw theory and the Paden-Kahan subproblem / Zhao Rongbo, Guan Yong, Shao Zhenzhou, Zhang Qianying, Wang Guohui // International Journal of Advanced Robotic Systems – 2018. – Vol. 15, No. 6. – P. 11. <https://doi.org/10.1177/1729881418818297>.

16. **Горбатюк Є. В.** Модульний принцип побудови будівельного робота / Д. О. Міщук, В. О. Волянчук, Є. В. Горбатюк // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – №89, 2017. – С. 90-97. <https://doi.org/10.26884/damu.a178913>.
17. **Міщук Д. О.** Однокішечний екскаватор з просторово-орієнтованою стрілою / Д. О. Міщук, Є. В. Горбатюк, О. А. Тетерятник // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Випуск 148. – 2014. – С. 43-48.
18. **Ловейкін В. С.** Визначення оптимальних режимів руху маніпулятора за процес пуску (гальмування) під час роботи за однією з узагальнених координат / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – №73, 2009. – С. 35-42.
19. **Міщук Д. О.** Кінематичний аналіз маніпуляційної системи будівельного робота / Д. О. Міщук // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2014. – Вып. 65-66. – С. 90-96.
20. **Ловейкін В. С.** Оптимізація режиму зміни вильоту маніпулятора з гідроприводом / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук – К.: Компрінт. – 2013. – 206 с. <https://doi.org/10.26884/damu.m13opzvmg>.
21. **Міщук Д. О.** Підвищення ефективності маніпулятора за рахунок оптимального керування / Д. О. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – №85. – 2015. – С. 43-50.
- zaciya stroitelstva [Construction mechanization], No.1, 3-8. – (in Russian).
4. **Zhigalov K. Yu., Syunyaev Sh. I.** (2013). Modeli dvizheniya stroitelnoj tehniki v procesah avtomatizacii stroitelstva obektov [Motion models of construction equipment in the processes of automation of construction of facilities]. Aktualnye innovacionnye issledovaniya: nauka i praktika [Actual innovative research: science and practice], No3, 5. – (in Russian).
5. **Carra Gu., Argiolas Alf., Bellissima Ales., Niccolini M., Ragaglia M.** (2018). Robotics in the construction industry: state of the art and future opportunities. 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC2018), July 2018, Berlin. <https://doi.org/10.22260/ISARC2018/0121>.
6. **Mantha Bharadwaj R. K., Carol C. Menassa, Vineet R. Kamat.** (2018). Robotic data collection and simulation for evaluation of building retrofit performance. Automation in Construction, 92, 88-102. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.026>.
7. **Vilman Yu. A.** (1989). Osnovy robotizacii v stroitelstve [The basics of building automation], Moscow, Vysshaya shkola Publ., 271. – (in Russian).
8. **Lelyanov B. N., Shelyanok E. A.** (2011). Matematicheskaya model mnogosvyaznogo obekta tipa «robot-manipulyator» [Mathematical model of a multiply connected object of the type "robot manipulator"], Khabarovsk, Elektronnoe nauchnoe izdanie. Uchenye zametki TOGU, Vol.2, No.1, 10-15. – (in Russian).
9. **Zablonskij K. I., Monashko N. T., Shecin B. M.** (1989). Optimalnyj sintez shem manipulatorov promyshlennyh robotov [Optimum synthesis schemes of manipulators of industrial robots], Kyiv, Tehnika Publ., 148. – (in Russian).
10. **Kobriniskij A. A., Kobriniskij A. E.** (1985). Manipulyacionnye sistemy robotov [Manipulation systems of robots], Moscow, Nauka Publ., 343. – (in Russian).
11. **Lovejkin V. S., Mischuk D. A.** (2012). Matematichne modeljuvannja zmini vil'otu vantazhu manipulatorom z gidroprivodom [Mathematical modeling of changes in cargo flight with hydraulic manipulator]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines], No. 79, 9-15. – (in Ukrainian).
12. **Lovejkin V. S., Mischuk D. A.** (2010). Oblasti zberezheniya energovitrat u vantazhnikh

REFERENCES

1. **Shagina E. S.** (2014). Robotizaciya kak metod povysheniya bezopasnosti stroitel'nogo proizvodstva [Robotization as a method of increasing the safety of building production]. Stroitel'stvo unikalnyh zdaniy i sooruzhenij [The construction of unique buildings and structures], No.6(21), 129-136. <https://readera.ru/14322126>. – (in Russian).
2. **Vaskovskij A. M.** (2012). Stroitelnye roboty: realnost i perspektivy [Construction robots: reality and prospects]. Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University], No.2, 79-83. – (in Russian).
3. **Vilman Yu. A., Stepanov M. A.** (2006). Distancionno upravlyaemye manipulyatory [Remote-controlled manipulators]. Mehani-

- manipulyatorah na transportnih zasobah [Ways saving energy in cargo manipulators in vehicles]. *Girniči, budivelnì, dorožnì ta meliorativnì mašini* [Mining, constructional, road and melioration machines], No. 75, 37-42. – (in Ukrainian).
13. **Dobrachev A. A., Raevskaya R. T., Shvets A. V.** (2008). The study of the kinematics of the work of the links of the manipulator in a generalized form. *Forest engineering*, No.3, 118-121.
 14. **Khasain A. A. A.** (2002). The rational choice of the parameters of the links of the robot manipulator based on the analysis of static and dynamic characteristics. Abstract of the dissertation, St. Petersburg, 20.
 15. **Rongbo Zhao, Yong Guan, Zhenzhou Shao, Qianying Zhang, Guohui Wang.** (2018). Inverse kinematic solution of 6R robot manipulators based on screw theory and the Paden-Kahan subproblem. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol.15, No.6, 11. <https://doi.org/10.1177/1729881418818297>
 16. **Mischuk D., Voliyanuk V., Gorbajuk E.** (2017). The modul design of construction robot. *Girniči, budivelnì, dorožnì ta meliorativnì mašini* [Mining, constructional, road and melioration machines], 89, 90-97. <https://doi.org/10.26884/damu.a178913>. – (in Ukrainian).
 17. **Mischuk D. A., Gorbajuk E. V., Teterjatnik A. A.** (2014). Odnokivshevij ekskavator z prostoro-orientovanoju striloju [Excavator with spatially oriented boom]. *Zbirnik naukovih prac' Ukraïns'koï derzhavnoï akademii zaliz-nichnogo transportu* [Scientific works the Ukrainian State Academy of Railway Transport], No. 148, 43-48. – (in Ukrainian).
 18. **Lovejkin V. S., Mischuk D. A.** (2009). Vznachennja optimalnih rezhimiv ruhu manipuljatora za proces pysku (galmuvannja) pid chas roboti za odnoi z uzagalnenih koordinat [Determining the optimal modes of motion of the manipulator for process start (inhibition) while working for one of the generalized coordinates]. *Girniči, budivelnì, dorožnì ta meliorativnì mašini* [Mining, constructional, road and melioration machines], No. 73, 35-42. – (in Ukrainian).
 19. **Mischuk D. O.** (2014). Kinematicnij analiz manipuljacijnoï sistemi budivelnogo robota [Kinematical analysis of the manipulation system of the construction work]. *Vestnik Har'kovskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of Kharkiv National Automobile Highway University], Vol.65-66, 90-96. – (in Ukrainian).
 20. **Mischuk D. O., Lovejkin V. S.** (2013). Optimizacija rezhimu zmini vil'otu manipuljatora z gidroprivodom. Monografija [Optimization of the mode of change of departure of the manipulator with a hydraulic drive. Monograph]. CP Komprint Publ., 206. <https://doi.org/10.26884/damu.m13opzvmg>. – (in Ukrainian).
 21. **Mishuk D. A.** (2015). Pidischeniya effektivnosti manipulatora za rahunok optimalnogo keruvaniya [Increasing efficiency manipulator by optimal control]. *Girniči, budivelnì, dorožnì ta meliorativnì mašini* [Mining, constructional, road and melioration machines], 85, 43-50. – (in Ukrainian).

Determination of geometric parameters of a manipulator using by characteristics the working environment

*Dmitry Mishchuk, Eugene Gorbajuk,
Vladimir Volianiuk*

*Kyiv National University of
Construction and Architecture*

Abstract. The use of industrial robotics in construction poses a number of severe and contradictory requirements, in particular, at high speed it is necessary to provide a given smooth movement and high precision of working out, and at the minimum mass and overall dimensions of actuators wish to receive the highest productivity and the performance of the robot. This increase in accuracy is usually associated with an increase in the mass and moment of inertia of the moving parts, and an increase in performance is achieved by the placement of tight drive mechanisms on the moving links of the robots, which significantly load them, thereby reducing the payload of industrial robots.

One of the key factors for efficient use of robots is the optimal selection of their parameters for the specific task, which requires additional research, since scientific works that clearly reflect the relationship between the work environment and the work are virtually absent. To use robots in construction, it is not necessary to have a clear model of understanding the functioning of these systems in the given technological conditions, as on the basis of this the optimal selection of the unit will be performed and the basic units and mechanisms of the work will be constructed.

The purpose of this work is to establish the influence of a given working environment on the choice of geometric parameters of a two-link ma-

nipulator. The paper presents the dependence by which it is possible to estimate the energy-genetic parameters of the manipulator, which depend on its geometric dimensions.

The study used methods of geometric similarity and analytical algebra, Lagrange equations of the 2nd kind, and known optimal laws of motion, which are correct for lifting machines.

Keywords: manipulator; the Lagrange equation; synthesis of manipulator links; at one moment of the manipulator; construction robot.