

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СПІВВІДНОШЕННЯ ДОВЖИН ЛАНОК МАНІПУЛЯТОРА ГРЕЙФЕРНОГО НАВАНТАЖУВАЧА З УРАХУВАННЯМ РЕЖИМІВ РОБОТИ

Ріпецький Є.Й, к.т.н., доцент

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

Отримано аналітичні вирази площі поперечного перерізу робочої зони маніпулятора грейферного навантажувача. Сформовано критерії оптимізації конструкції маніпулятора з урахуванням різних режимів роботи. Надано рекомендації у вигляді оптимального співвідношення довжин ланок маніпулятора для різних режимів роботи грейферних навантажувачів

Постановка проблеми. Розвиток виробництва грейферних навантажувачів ПГ-0,5К, ПЕ-0,8Б, ПГБ-1А, ПЕА-1,0А на заводі «Коломиясільмаш» вимагав створення спеціальних маніпуляторів для кожної моделі. Загальною особливістю маніпуляторів (рис.1) є простота конструкції, можливість застосування гідроприводу для руху ланок стріли – 1, надставки – 2 та наявність широкого набору змінних робочих органів – 3. Вказані фактори надають універсальних якостей грейферним навантажувачам, що дозволяє застосувувати їх для роботи з багатьма матеріалами як у сільськогосподарському виробництві, так і у тваринництві.

При конструюванні маніпуляторів потрібно враховувати основні кінематичні параметри, які забезпечують технологію використання навантажувачів в агросекторі.

Обґрунтування кінематичних параметрів маніпуляторів грейферних навантажувачів дозволить раціонально експлуатувати машини з урахуванням різних режимів їх роботи в умовах сільського і тваринницького господарств.

Аналіз досліджень і публікацій. Обґрунтуванням основних параметрів маніпуляторів займалися вчені різних галузей, у яких застосовуються машини з технологічним обладнанням у вигляді маніпулятора. Їх дослідження спрямовані на покращення конструкцій маніпуляторів різних кранів, лісозаготівельної та будівельної техніки. В результаті досліджень були розроблені методи та моделі обґрунтування основних параметрів маніпуляторного технологічного обладнання з урахуванням різних факторів навантаження.

В сучасних дослідженнях залучаються методи математичного та комп'ютерного моделювання. Так в публікації [1] досліджуються робочі зони чотириланкового маніпулятора. На прикладі заданої кінематичної схеми маніпулятора представлена методика формування граничних поверхонь у вигляді 3D-моделей, які описує базова точка маніпулятора внаслідок руху окремих його ланок. Такі поверхні автори називають сингулярними і в сукупності їх використовують для визначення робочої зони маніпулятора шляхом операцій об'єднання. Однак, внаслідок застосування чотириланкового

механізму, отримана цільова функція поверхонь від узагальнених координат ускладнює рішення задач параметризації для маніпуляторів грейферних навантажувачів. Як буде показано в даній роботі робочу поверхню можна розглядати як переріз в площині, що важливо при застосуванні до них граничних умов, які є особливістю технологічних процесів.

В роботі [2] розглядаються узагальнені робочі зони лісового маніпулятора при виконанні підйомно-транспортних операцій з лісоматеріалами, на основі яких пропонується уніфікований маніпулятор, який забезпечує виконання значної частини підйомно-переміщувальних операцій у лісовому комплексі. Надані рекомендації у вигляді оптимального максимального вильоту маніпулятора. Оскільки авторами розглядалась телескопічна конструкція маніпуляторів, то питання оптимального співвідношення їх ланок не відображено. Крім того, технологічні прийоми роботи лісової техніки не передбачає операцій для підйому вантажів нижче рівня землі.

Мета роботи. Розробити методику визначення оптимального співвідношення ланок маніпулятора стріли та надставки грейферного навантажувача при різних режимах роботи.

Постановка завдання. Конструктивною особливістю всіх грейферних навантажувачів є наявність поворотного маніпулятора, який забезпечує в технологічному циклі як переміщення робочого органу, так і перенесення вантажу від місця захвату матеріалу до місця його розвантаження. Маніпулятор представляє собою шарнірно-важільну конструкцію, ланки якої приводяться в дію гідроциліндрами. Співвідношення довжин ланок маніпулятора стріли $l_{стр}$ та надставки $l_{над}$ серійних грейферних навантажувачів наведено в таблиці 1.

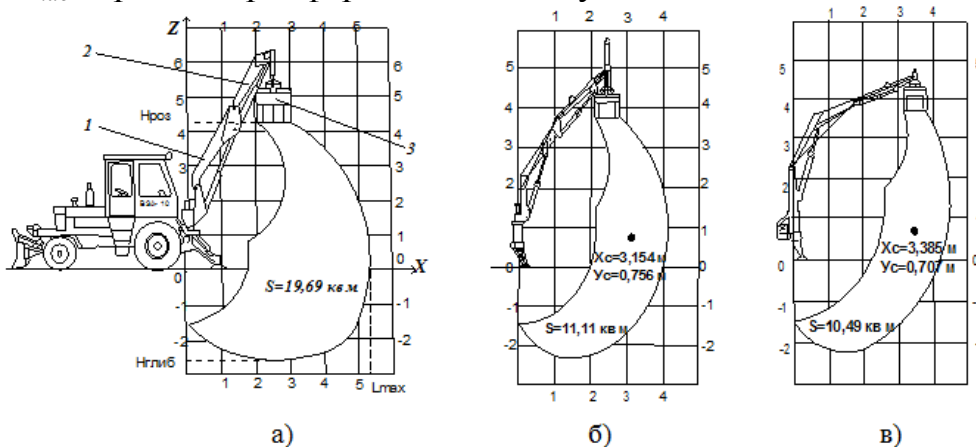


Рис. 1. Вертикальні проекції робочих зон грейферних навантажувачів: а) ПЕА-1,0, б) ПЕ-0,8Б, в) ПГБ-1,0

Від розмірів ланок маніпулятора та ходів гідроциліндрів залежить робоча зона, яку обслуговує грейферний навантажувач. На рис. 1 показані робочі зони навантажувачів Карпатець ПЕА-1,0А, ПЕ-0,8Б, ПГБ-1А. Робоча зона встановлює такі характеристики навантажувача як максимальний виліт L_{max} , глибина завантаження матеріалу $H_{глиб}$. та максимальна висота розвантаження $H_{роз}$.

Проведемо оцінку параметрів маніпуляторів шляхом порівняння характеристик перерізу робочих зон. У першому наближенні можна ввести

загальну величину площі перерізу робочої зони S . Перерізи робочих зон з площею S показано на рис.1, а їх значення наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльні характеристики робочих зон грейферних навантажувачів

Навантажувач	Довжини ланок маніпулятора, м		$\frac{l_{стр}}{l_{над}}$	S- площа перерізу робочої зони, м ²
	стріла $l_{стр}$	надставка $l_{над}$		
ПЕА-1,0 «Карпатець»	2,58	1,96	1,33	19,69
ПЕ-0,8Б	1,96	1,77	1,11	11,11
ПГБ-1,0	2,45	1,76	1,39	10,49
ПГ-0,5К	1,8278	1.955	0,935	3,4396

Однак, необхідно врахувати, що робоча зона має дві ділянки, які відповідають різним режимам роботи навантажувача. Перша ділянка відповідає режиму завантаження матеріалів нижче рівня землі ($-H_{глиб} < Z < 0$) і має робочу площу $S_{низ}$. Друга ділянка робочої зони з площею перерізу $S_{верх}$ – це завантаження матеріалів, що розміщені на поверхні землі та їх перенесення на висоту розвантаження $H_{розв}$ ($0 < Z < H_{розв}$). Тобто, значення площин можна записати через операції перетину математичної логіки

$$\begin{aligned} S_{низ} &= S \cap (-H_{глиб} < Z < 0) \\ S_{верх} &= S \cap (0 < Z < H_{розв}) \end{aligned} \quad (1)$$

Задачею дослідження є отримання аналітичних залежностей як цілої площі перерізу S робочої зони грейферного навантажувача, так і її окремих складових частин нижче рівня землі $S_{низ}$ і над поверхньою $S_{верх}$, на основі яких визначити оптимальне співвідношення довжин ланок маніпулятора грейферного навантажувача з урахуванням режимів роботи при виконанні операцій з вантажами як нижче, так і вище поверхні землі.

Результати дослідження. Розглядаючи робочу зону грейферного навантажувача, можна стверджувати, що величина площі її перерізу залежить як від кінематичних параметрів маніпулятора, так і від розмірів робочого органу, габарити якого і формують зовнішню лінію робочої зони. З метою отримання аналітичних залежностей загальної площі перерізу та її складових представимо робочу зону грейферного навантажувача у вигляді двох зон (рис.2), що дозволяє розмежувати вплив різних факторів при отриманні теоретичних залежностей.

Перша зона обмежена контуром $KLMN$, який відповідає переміщенню базової точки маніпулятора – C . При чому положення стріли задається кутом α , а надставки – кутом β . Друга зона (вона заштрихована на рис.2) має зовнішній контур $K_1L_1M_1N_1K_2$, який описують габарити робочого органу – грейфера. Відповідно робоча зона, що утворюється переміщенням базової точки

маніпулятора, має площу $S_{ман}$, а робочим органом – S_p . Тому загальна площа перерізу становить $S = S_{ман} + S_p$, що дозволяє дослідити окремо вплив як кінематичних параметрів маніпулятора, так і габаритів робочого органу з шириною B .

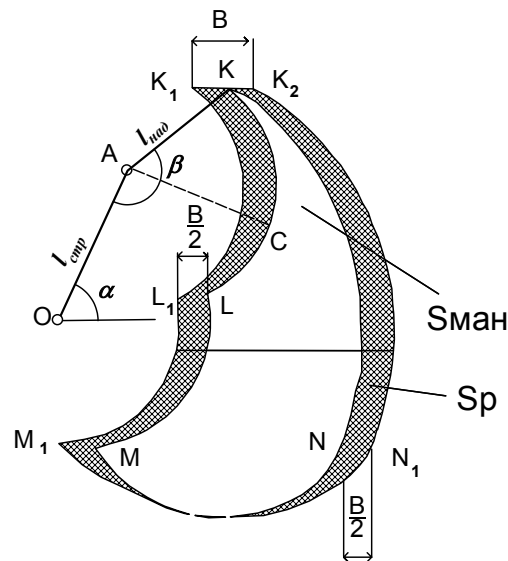


Рис. 2. Структурні частини робочої зони

Спочатку отримаємо аналітичний вираз площі перерізу маніпулятора $S_{ман}$ в залежності від співвідношення довжин ланок стріли $l_{стр}$ та надставки $l_{над}$ при фіксованому вильоті маніпулятора L_{max} та застосуванням обмежень на діапазони зміни кутів повороту стріли α та надставки β , кожний з яких задається мінімальним та максимальним значеннями ($\alpha_{min} \dots \alpha_{max}$ і $\beta_{min} \dots \beta_{max}$).

Спочатку було обчислено координати екстремальних точок K, L, M, N . Точка K відповідає максимальній висоті розвантаження. Траєкторія KL відповідає переміщенню шарніра C при рухах надставки змінюючи координат в напрямку $\beta_{max} \rightarrow \beta_{min}$ (при $\alpha = const$). Траєкторія LM утворюється переміщенням стріли $\alpha_{max} \rightarrow \alpha_{min}$ при фіксованій відносній координаті (при $\beta = const$). Аналогічно, траєкторія MN відповідає переміщенню шарніру C під час руху надставки зі змінюючи координат $\beta_{min} \rightarrow \beta_{max}$ (при $\alpha = const$), а MK – підйому стріли $\alpha_{min} \rightarrow \alpha_{max}$ (при $\beta = const$).

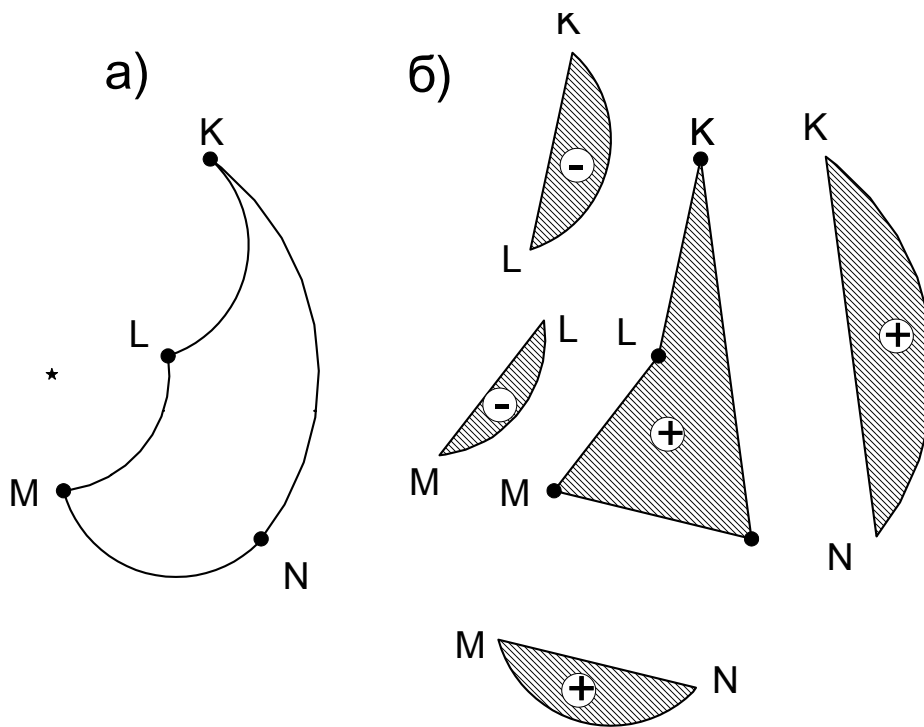


Рис.3. Розрахунок площі робочої зони маніпулятора(без грейфера а) контур зони б)елементи робочої зони

Таким чином, робоча зона маніпулятора має вигляд фігури на рис. 3а. Для знаходження площі робочої зони в залежності від розмірів ланок маніпулятора вона розбита на прості елементарні фігури. Це чотирикутник KLMN та чотири сегменти. Два з яких утворюються дугами $\cup MN$ і $\cup NK$. Інші два сегмента з дугами $\cup KL$ і $\cup LN$ розглядаються як умовно від'ємні площини (рис. 3б).

Робоча зона маніпулятора становить

$$S_m = S_{KLMN} + S_{\cup MN} + S_{\cup NK} - S_{\cup MN} - S_{\cup LN}$$

Отримані значення площин робочої зони маніпулятора апроксимовані залежністю від k :

$$S_m = -4040,4k^4 + 51491k^3 - 22693k^2 + 344990k + 287926, \quad (2)$$

де $k = \frac{l_{стр}}{l_{над}}$ - коефіцієнт співвідношення ланок маніпулятора.

Розглянемо тепер границю заштрихованого контура $K_1L_1M_1N_1K_2$, що відповідає додатковій площі, яка утворюється від переміщення робочого органу, можна зауважити наступне. Так точки L_1 та M_1 мають зміщення координати x відносно базових точок L та M вліво на величину $\Delta x = -\frac{B}{2}$.

Навпаки, точка N_1 має зміщення координати вправо, тобто $\Delta x = \frac{B}{2}$ від точки N .

Що стосується верхньої точки K розвантаження, то вона враховує габарити

робочого органу як зліва та і справа, тому появляються дві точки K_1 і K_2 з відповідними зміщеннями $\Delta x = -\frac{B}{2}$ та $\Delta x = \frac{B}{2}$ від базової точки K .

При складанні аналітичного виразу було проведено комп'ютерне моделювання, яке дозволило встановити достатньо простий вираз для обчислення додаткової площі [3]:

$$S_2 = B \cdot (H_{розв} + H_{глиб}) \quad (3)$$

Величини $H_{розв}$ та $H_{глиб}$ розраховуються як радіус-вектор точки C маніпулятора [4].

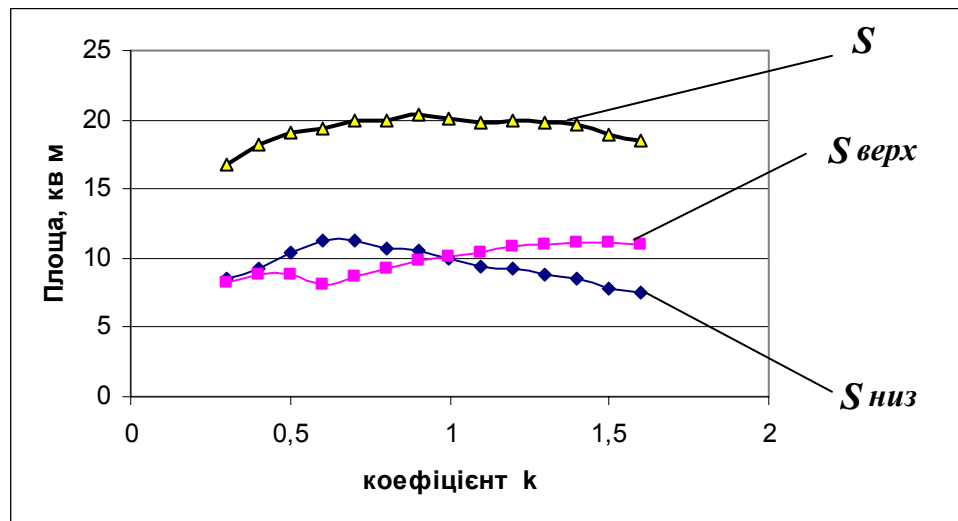


Рис. 4. Оптимізація ланок маніпулятора на основі аналітичних даних про робочу зону навантажувача

За розрахунковими значеннями (2) та (3) отримано залежність зміни S площі робочої зони навантажувача в залежності від співвідношення ланок маніпулятора (рис. 4). А також, застосовуючи вираз (1) за допомогою функції просторових операторів ГІС– програмних засобів обчислені значення площин $S_{верх}$ і $S_{низ}$, графіки яких показані на тому ж рисунку.

Пошук оптимального співвідношення ланок маніпулятора виконано для різних умов роботи навантажувача за критеріями

$$S \rightarrow \max \quad i \quad S_{низ} \rightarrow \max, \quad (4)$$

та $S \rightarrow \max \quad i \quad S_{верх} \rightarrow \max$

Співвідношення ланок маніпулятора при $k = 0,6 \dots 1,4$ надає максимальні значення робочій зоні навантажувача. Оптимальне співвідношення ланок маніпулятора при роботі з поверхневим вантажами утворює значення $k = 1,3 \dots 1,5$. В той час при роботі з матеріалами, які знаходяться нижче поверхні землі потрібне співвідношення становить $k = 0,6 \dots 0,8$.

Висновок. Розроблена методика дозволяє встановити оптимальні значення співвідношення ланок маніпулятора шарнірно-важільної конструкції

при роботі з грейфером на різних навантажувальних режимах, що є корисним при проектуванні модернізованих грейферних навантажувачів.

Список використаних джерел

1. Обжерин, Ю.Е. Определение и визуализация сингулярных поверхностей в рабочем пространстве манипулятора [Текст] / Ю.Е. Обжерин, М.А. Колесова//Оптимізація виробничих процесів. Вип. 10: зб. наук. пр. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2007. – С. 118-122

2. Добрачев, А. А. Исследование кинематики работы звеньев манипулятора в обобщенном виде [Текст] / А. А. Добрачев, Л. Т. Раевская, А. В. Швец // Лесной вестник. – 2008. – № 3(60). – С. 118-122.

3. Ріпецький Є. Й. Розробка аналітичних функцій в ГІС-середовищі для автоматизованої системи прийняття конструкторських рішень[Текст] / Ріпецький Є.Й // Суспільно-економічні відносини та стратегія інноваційної діяльності у період реформування аграрної сфери економіки. Матеріали науково-практичної конференції. Коломия, 2011,-С.3-45.

4. Ріпецький Є.Й., Рибак Т.І., Зарічний І.Ф. Конструктивні та кінематичні особливості маніпулятора сільськогосподарських грейферних навантажувачів. В зб. «Сільськогосподарські машини», збірник наукових праць. Вип. 15, – Луцьк, ЛДТУ, 2007

Аннотация

Определение оптимального соотношения длины звеньевманипулятора грейферный погрузчик с учетом режимов работы

Ріпецький Є.Й,

Определены аналитические выражения площади поперечного сечения рабочей зоны манипулятора для грейферного погрузчика. Сформированы критерии оптимизации конструкций манипулятора с учетом различных режимов работы. В результате получены рекомендации в виде оптимального соотношения длин звеньев манипулятора для различных режимах работы грейферных погрузчиков

Abstract

Determination of optimal ratio between unit lengths of grab loader manipulator considering operation modes

E. Ripetskyy

Analytical expressions for cross-sectional operation zone of grab loader manipulator have been obtained. Criteria for optimization in manipulator construction taking into account different operation modes have been established. Suggested recommendations include optimal ratio of manipulator's unit lengths in different modes of grab loader