

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОСІВНОГО КОМПЛЕКСУ ВІД СХЕМ РУХУ ТА ПАРАМЕТРІВ ПОЛЯ

Барабаш Григорій Іванович

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0003-1075-479X
grinya45@ukr.net

Саржанов Богдан Олександрович

PhD, старший викладач
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0001-9796-9499
arhimag0@gmail.com

Однією з характерних тенденцій розвитку світового машинобудування в галузі виробництва зерна є подальше збільшення продуктивності і підвищення технічного рівня техніки.

Ринок сільськогосподарської техніки характеризується різноманітністю виробників сівалок та посівних комплексів, які відрізняються за продуктивністю та якістю. Важливим чинником є їхня ціна та вартість обслуговування. Крім того, значну увагу привертає наявність сервісних центрів. Аграрні виробники стоять перед важким і складним вибором між дорогими високопродуктивними машинами чи дешевшими і з меншою продуктивністю. Адже в умовах сучасного сільськогосподарського виробництва посівна техніка, яка є переважно високопродуктивною та дорогою, в різних за розміром господарствах приносить різні прибутки, використовується по-різному протягом року, а отже, має різний економічний ефект.

Застосування різних схем руху в посівних комплексах може мати значний вплив на результати посівних робіт. В залежності від конкретних умов і вимог, можуть використовуватися різні схеми руху. Кожна з них схем має свої переваги і недоліки, і їх вибір впливає на якість і ефективність посівних робіт.

Однак, розуміння кінематичних параметрів посівного комплексу і їх залежності від схем руху є складним завданням. Для цього необхідно проводити дослідження, вимірювати різні параметри руху та аналізувати отримані дані. Це вимагає застосування математичного моделювання, статистичного аналізу і оптимізаційних методів.

В запропонованій статті наведені методичні підходи стосовно визначення кінематичних показників посівного комплексу вітчизняного виробництва в залежності від схем руху і параметрів поля. Отримані результати дослідження сприятимуть покращенню ефективності посівних робіт і зменшенню витрат ресурсів.

У роботі використовуються методи математичного моделювання та аналізу, зокрема теорія руху механізмів, теорія оптимізації і статистичний аналіз даних. Проводяться експерименти з вимірюванням кінематичних параметрів посівного комплексу для різних схем руху та параметрів поля. На основі отриманих даних будуються математичні моделі, які дозволяють прогнозувати кінематичні параметри посівного комплексу для різних умов.

Отже, ця стаття присвячена вивченню і математичному моделюванню взаємозв'язку між рухом посівного комплексу, схемами руху та параметрами поля. Очікується, що отримані результати дослідження сприятимуть удосконаленню сільськогосподарських процесів та забезпеченню оптимальних умов для вирощування рослин.

Ключові слова: сівба, посівний комплекс, трактор, машинний агрегат, схеми руху, схеми поворотів.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.2.2>

Постановка проблеми в загальному вигляді. Проблема полягає в необхідності вивчення кінематичних параметрів сучасного покоління сільськогосподарських машин, і зокрема, посівних комплексів, оскільки ці параметри суттєво впливають в першу чергу на продуктивність машинних агрегатів та на витрату палива, що в кінцевому результаті впливає на собівартість вирощеної продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження стосовно встановлення залежностей кінематичних параметрів комплексних машинних агрегатів від схем руху і розмірів поля взагалі не проводилися.

Формулювання цілі статті. Встановити аналітичним шляхом найбільш раціональну схему повороту посівного комплексу, використовуючи для цього відомі математичні формули, які застосовувались для простих машинних агрегатів.

Для реалізації поставленої цілі розглянемо це на конкретному прикладі. В якості об'єкту аналітичних досліджень візьмемо посівний комплекс вітчизняного виробництва ALCOR 10. (Рис. 1)

Посівний комплекс призначений для сівби зернових, зернобобових круп'яних та інших культур. Переваги його застосування полягають в наступному:

- повне підрізання бур'янів на глибині ходу стрілочастих лап (тобто на глибині заробки насіння);
- повне вичісування і рівномірний розподіл по ширині захвату підрізаних бур'янів;
- суцільна сівба насіння на глибину від 30 до 120 мм;
- одночасне внесення в рядки певної дози мінеральних добрив;
- поверхневе ущільнення ґрунту (коткування) після заробки насіння.

Застосування посівного комплексу дозволяє виключити такі технологічні операції як оранка та передпосівний обробіток ґрунту.

Результативність його застосування полягає в наступному:

- скорочуються терміни сівби;
- зменшується витрата енергетичних ресурсів:

– підвищується якість виконання технологічної операції. (Melnyk I.I. et al, 2004)

Вихідні дані наведені в таблиці 1.

Склад посівного агрегату:

- посівний комплекс ALCOR 10;
- трактор БЕЛАРУС 3022ДЦ.



Рис. 1. Посівний комплекс ALCOR 10



Рис. 2. Посівний агрегат в роботі (V chem..., 2017)

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунків

Параметри поля	Одиниці виміру	Розміри поля по варіантах		
		I	II	III
Площа	га	200	200	200
Довжина	м	1838	1414	1088
Ширина	м	1088	1414	1838
Напрямок руху агрегату		Уздовж довшої сторони поля	Уздовж однієї із сторін	Уздовж короткої сторони поля

Таблиця 2

**Стисла технічна характеристика
машинного агрегату (Posivnyy kompleks ...)**

Тип агрегату	напівпричіпний
Конструкційна ширина захвату, м	9,8
Кількість машин в агрегаті	1
Кінематична довжина відповідно, м:	
– трактора	3
– посівного комплексу	15
– разом	18
Габаритні розміри посівного комплексу, мм:	
– довжина	14970
– ширина	10500
– висота	4050
Радіус повороту агрегата, м	15

Вибираємо найбільш доцільні схеми руху і виду поворотів машинного агрегату (Ruzhytskyi M.A. et al., 2010).



Рис. 3

Теоретичні передумови визначення кінематичних параметрів машинних агрегатів

1. Робоча ширина захвату сівального агрегату B_p залежить від конструкційної ширини захвату B_k ($B_k = 9,8$ м), кількості машин в агрегаті n ($n=1$) та коефіцієнта використання ширини захвату β (для всіх сівальних машин $\beta = 1,0$, оскільки ширина стикового міжряддя і ширина міжрядь сівалки повинні бути однаковими). Тобто (Limont A. S. et al., 2004)

$$B_p = B_k * n * \beta \quad (1)$$

2. Кінематична довжина сівального агрегату I_k складається із кінематичної довжини трактора I_{mp} та посівного комплексу I_m , тобто:

$$I_k = I_{mp} + I_m \quad (2)$$

3. Довжина виїзду напівпричіпного посівного агрегату e прямо пропорційна його кінематичній довжині I_k , тобто :

$$e = (0,25 \dots 0,75) * I_k \quad (3)$$

4. Ширина поворотної смуги E залежить від радіуса повороту агрегата R_n , ширини комплексу d_a і схеми повороту:

– петльовий грушоподібний

$$E = 2,8 * R_n + 0,5 * d_a \quad (4)$$

– бокова петля

$$E = 2,0 * R_n + 0,5 * d_a \quad (5)$$

– подвійна петля

$$E = 2,8 * R_n + 0,5 * d_a \quad (6)$$

Фактична ширина поворотної смуги повинна бути не менше розрахункової і відповідати найменшому значенню парній кількості робочих проходів (Pastukhov V.I., 2001).

5. Довжина робочого ходу I_{px} залежить від довжини сторони поля уздовж якої рухається агрегат (L – довжина поля, B – ширина поля):

– при русі уздовж довшої сторони поля:

$$I_{px} = L - 2 * E \quad (7)$$

– при русі з однаковими сторонами поля:

$$I_{px} = L(B) - 2 * E \quad (8)$$

– при русі уздовж коротшої сторони поля:

$$I_{px} = B - 2 * E \quad (9)$$

6. Довжина холостого ходу на поворотах I_{xx} залежить від схеми повороту:

– петльовий грушоподібний:

$$I_{xx} = (6,0 \dots 8,0) * R_n \quad (10)$$

– бокова петля:

$$I_{xx} = (11,0 \dots 13,0) * R_n \quad (11)$$

– подвійна петля:

$$I_{xx} = (11,0 \dots 14,0) * R_n \quad (12)$$

7. Кількість робочих проходів n_{px} залежить від розміру сторони поля, до якої рухається агрегат (L або B) та робочої ширини захвату агрегату B_p :

– агрегат рухається уздовж довшої сторони поля:

$$n_{px} = \frac{B}{B_p} \quad (13)$$

– агрегат рухається уздовж однакових сторін поля :

$$n_{px} = \frac{L(B)}{B_p} \quad (14)$$

– агрегат рухається уздовж коротшої сторони поля:

$$n_{px} = \frac{L}{B_p} \quad (15)$$

8. Кількість холостих ходів n_{xx} на два менше, ніж робочих (не враховуються заїзд і виїзд агрегату):

$$n_{xx} = n_{px} - 1 \quad (16)$$

9. Загальна довжина робочих ходів S_p складається із довжини робочих ходів на основній частині поля S_p^o та поворотних смугах S_p^n :

$$S_p = S_p^o + S_p^n \quad (17)$$

$$S_p = n_{px} * I_{px} + (2E/B_p) * I_{pc} \quad (18)$$

де I_{pc} – довжина поворотної смуги (вона дорівнює одній із сторін поля, уздовж якої рухається агрегат).

Загальну довжину робочих ходів можна визначити за іншою формулою, яка включає в себе два показники:

площу поля F (га) та робочу ширину захвату сівального агрегату B_p (м):

$$S_p = 10^4 F / B_p. \quad (19)$$

Для всіх варіантів $S_p = 204082$ м.

Загальну довжину холостих ходів S_x можна визначити за формулою, що включає в себе практично одні вихідні дані:

$$S_x = S_x^o + S_x^n = k_x R_n [(B/B_p) - 1] + k_x R_n [(2k_e R_n / B_p) - 1] = \\ = k_x R_n \{ [(B/B_p) - 1] + [(2k_e R_n / B_p) - 1] \}$$

де k_x, k_e – поправочний коефіцієнт до радіуса повороту відповідно до визначення довжини повороту та ширини поворотної смуги (Ilchenko V.Yu. et al., 1996).

10. Коефіцієнт робочих ходів φ знаходиться як співвідношення робочих S_p та холостих S_x ходів :

$$\varphi = S_p / (S_p + S_x) \quad (21)$$

11. Коефіцієнт поворотливості k_n залежить від розмірів поздовжньої бази трактора l_{mp} (3,01м), поступальної швидкості агрегата на повороті $V_{пов}$ (1,4...2,6 м/с) та кутової швидкості $\omega_{пов}$ (0,215...0,22 с⁻¹)

$$k_n = l_{mp} * V_{пов} / \omega_{пов} \quad (22)$$

Для всіх варіантів $k_n = 1,72$.
(Didenko M.K. 1983)

Результати аналітичних розрахунків наведені в таблиці 3.

Висновки:

1. Найбільше значення коефіцієнт робочих ходів ($\varphi = 0,94$) має в ситуації, коли сівальний агрегат рухається уздовж довшої сторони поля і здійснює петльовий грушоподібний поворот, тому його можна вважати найбільш доцільним способом повороту.

2. Найменше значення коефіцієнта робочих ходів ($\varphi = 0,84$) буде тоді, коли сівальний агрегат буде рухатись уздовж коротшої сторони поля і здійснюватиме поворот подвійною петлею.

3. Якщо підрахувати коефіцієнт робочих ходів з урахуванням тільки основної площі поля, то його значення буде відрізнятися від того значення, де були враховані поворотні смуги в менший бік на 0,01 (на 1%), що є несуттєвим.

4. Як показали спостереження в виробничих умовах, найбільш популярним способом повороту є бокова петля, оскільки при цьому ширина поворотної смуги найменша, що в деяких випадках може мати суттєве значення.

Таблиця 3

Результати розрахунків

Схеми поворотів	Напрямок руху агрегата		
	уздовж довгої сторони поля	уздовж однієї із сторін поля	уздовж короткої сторони поля
Петльовий грушоподібний	$E = 58,8$ $S_p = 204082$ $l_{px} = 1720$ $l_{xx} = 120$ $\pi_{px} = 111$ $\pi_{xx} = 110$ $S_x = 13800$ $\varphi = 0,94$ $k_n = 1,72$	$E = 58,8$ $S_p = 204082$ $l_{px} = 1296$ $l_{xx} = 120$ $\pi_{px} = 144$ $\pi_{xx} = 143$ $S_x = 17760$ $\varphi = 0,92$ $k_n = 1,72$	$E = 58,8$ $S_p = 204082$ $l_{px} = 970$ $l_{xx} = 120$ $\pi_{px} = 188$ $\pi_{xx} = 187$ $S_x = 23040$ $\varphi = 0,89$ $k_n = 1,72$
Бокова петля	$E = 39,2$ $S_p = 204082$ $l_{px} = 1760$ $l_{xx} = 195$ $\pi_{px} = 111$ $\pi_{xx} = 110$ $S_x = 21810$ $\varphi = 0,90$ $k_n = 1,72$	$E = 39,2$ $S_p = 204082$ $l_{px} = 1276$ $l_{xx} = 195$ $\pi_{px} = 144$ $\pi_{xx} = 143$ $S_x = 28245$ $\varphi = 0,88$ $k_n = 1,72$	$E = 39,2$ $S_p = 204082$ $l_{px} = 950$ $l_{xx} = 195$ $\pi_{px} = 187$ $\pi_{xx} = 186$ $S_x = 36829$ $\varphi = 0,85$ $k_n = 1,72$
Подвійна петля	$E = 58,8$ $S_p = 204082$ $l_{px} = 1720$ $l_{xx} = 210$ $\pi_{px} = 111$ $\pi_{xx} = 110$ $S_x = 23700$ $\varphi = 0,89$ $k_n = 1,72$	$E = 58,8$ $S_p = 204082$ $l_{px} = 1296$ $l_{xx} = 210$ $\pi_{px} = 144$ $\pi_{xx} = 143$ $S_x = 30630$ $\varphi = 0,87$ $k_n = 1,72$	$E = 58,8$ $S_p = 204082$ $l_{px} = 970$ $l_{xx} = 210$ $\pi_{px} = 188$ $\pi_{xx} = 187$ $S_x = 39870$ $\varphi = 0,84$ $k_n = 1,72$

Бібліографічні посилання:

1. Barabash G.I., Zubko V.M., Barabash O.H., Khvorost T.V. (2016). *Metodyka rozrobky operatsiinoi tekhnologii mekhanizovanykh polovykh robot.*[Methodology for developing the operational technology of mechanized field work] Sumy: Drukarskyi dim. (in Ukrainian)
2. Didenko M.K. (1983). *Ekspluatatsiia mashynno-traktornoho parku.*[Operation of the machine and tractor park] Kyiv: Vyshcha shkola. (in Ukrainian)
3. Melnyk I.I., Hrechkosii V.D., Marchenko V.V., Mykhailovych Ya.M., Melnyk V.I., Nadtochii O.V (2004). *Optyimizatsiia kompleksiv mashyn i struktury mashynnoho parku ta planuvannia tekhnichnoho servisu.*[Optimization of machine complexes and the structure of the machine park and planning of technical service] Kyiv: Vydavnychiy tsentr. (in Ukrainian)
4. *V chem preymushchestva otechestvennoho posevnoho kompleksa ALCOR 10* [What are the advantages of the domestic sowing complex ALCOR 10] *Agropravda*, 2017. URL: <https://agropravda.com/news/tehnika-fermera/8678-v-chem-preimushchestva-otechestvennogo-posevnogo-kompleksa-alcor-10> (in Ukrainian)
5. *Posivnyi kompleks ALCOR 10* [Sowing complex ALCOR 10] *Agroresurs* URL: <http://www.agro.kr.ua/uk/alcor-10> (in Ukrainian)
6. Ruzhytskyi M.A., Ryabets V.I., Kiyashko V.M., (2010). *Ekspluatatsiia mashyn i obladnannia.* [Operation of machines and equipment] Kyiv: Ahrarna osvita (in Ukrainian)
7. Limont A. S. and others. (2004). *Praktykum z mashynovykorystannia v roslynnytstvi.* [Workshop on machine use in crop production] Kyiv: Kondor (in Ukrainian)
8. Pastukhov V.I. (2001). *Dovidnyk z mashynovykorystannia v zemlerobstvi.* [Handbook on the use of machinery in agriculture] Kharkiv: Vesta (in Ukrainian)
9. Ivashina M.B. (2003). *Mashynovykorystannia v zemlerobstvi.* [Machine use in agriculture] Kyiv: NMC (in Ukrainian)
10. Ilchenko V.Yu., Nagirnyi Yu.P. Dzholos P.A. and others. (1996). *Mashynovykorystannia v zemlerobstvi.* [Machine use in agriculture] Kyiv: Urozhai (in Ukrainian)

Barabash G. I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Sarzhanov B. O., PhD, Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Mathematical modeling of the dependence of the kinematic parameters of the sowing complex on the motion schemes and field parameters

One of the characteristic trends in the development of world engineering in the field of grain production is the further increase in productivity and the improvement of the technical level of equipment.

The market of agricultural machinery is characterized by a variety of manufacturers of planters and sowing complexes, which differ in productivity and quality. An important factor is their price and cost of maintenance. In addition, the presence of service centers attracts considerable attention. Agricultural producers are faced with a difficult and difficult choice between expensive high-performance machines or cheaper and less productive ones. After all, in the conditions of modern agricultural production, sowing equipment, which is mostly highly productive and expensive, brings different profits in farms of different sizes, is used differently throughout the year, and therefore has a different economic effect.

The use of different movement schemes in sowing complexes can have a significant impact on the results of sowing operations. Depending on specific conditions and requirements, different traffic schemes can be used. Each of these schemes has its advantages and disadvantages, and their choice affects the quality and efficiency of sowing operations.

However, understanding the kinematic parameters of the sowing complex and their dependence on movement patterns is a difficult task. For this, it is necessary to conduct research, measure various movement parameters and analyze the obtained data. This requires the use of mathematical modeling, statistical analysis and optimization methods.

The proposed article presents methodical approaches to determining the kinematic indicators of domestically produced seeding complex depending on the movement patterns and field parameters. The obtained results of the research will contribute to the improvement of the efficiency of sowing operations and the reduction of resource costs.

The work uses methods of mathematical modeling and analysis, in particular the theory of movement of mechanisms, the theory of optimization and statistical data analysis. Experiments are conducted to measure the kinematic parameters of the sowing complex for various movement schemes and field parameters. Mathematical models are built on the basis of the obtained data, which allow predicting the kinematic parameters of the sowing complex for various conditions.

Therefore, this article is devoted to the study and mathematical modeling of the relationship between the movement of the sowing complex, movement patterns and field parameters. It is expected that the obtained research results will contribute to the improvement of agricultural processes and ensure optimal conditions for growing plants.

Key words: sowing, sowing complex, tractor, machine unit, movement patterns, turning patterns.