

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ РОТАЦІЙНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ

Наводяться результати аналітичних досліджень впливу параметрів установки ротаційно-лопатевих робочих органів на агротехнічні показники обробітку ґрунту.

Постановка проблеми

На стадії розробки технічної пропозиції і в подальшому – технічного завдання та проектування перспективних робочих органів ґрунтообробних знарядь виникає проблема вибору оптимального варіанту конструкції. Аналітично обґрунтовані параметри роботи робочого органу (кінематичні, геометричні, динамічні тощо) мають бути апробовані з точки зору працездатності конструкції, доцільності обраних параметрів та

раціональності пропонованого рішення. Перевірка аналітично обґрунтованих рішень ускладнена з огляду на багатоваріантність пропозицій і пов'язана із значними витратами на виготовлення натурних зразків робочих органів ґрунтообробних знарядь. Разом з тим, відомо, що на стадії технічної пропозиції пропоновані рішення можуть бути апробовані у вигляді аналітичної моделі з використанням комп'ютерної техніки. Така апробація зводить до мінімуму можливі помилки при розробці технічного завдання та проектування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

З метою характеристики процесу роботи ротаційно-лопатевого робочого органу, оскільки переріз профілю скиби обмежується різальними кромками ножа-лопати ротора, доцільним буде описати рух характерних точок ножа-лопати, відносно статичної системи координат $xOyz$ за допомогою рівнянь, які описують траєкторію довільної точки ротора розташованого в горизонтальній площині xOy під кутом β до напрямку руху машинно-тракторного агрегату (рис.1) [1, 2]:

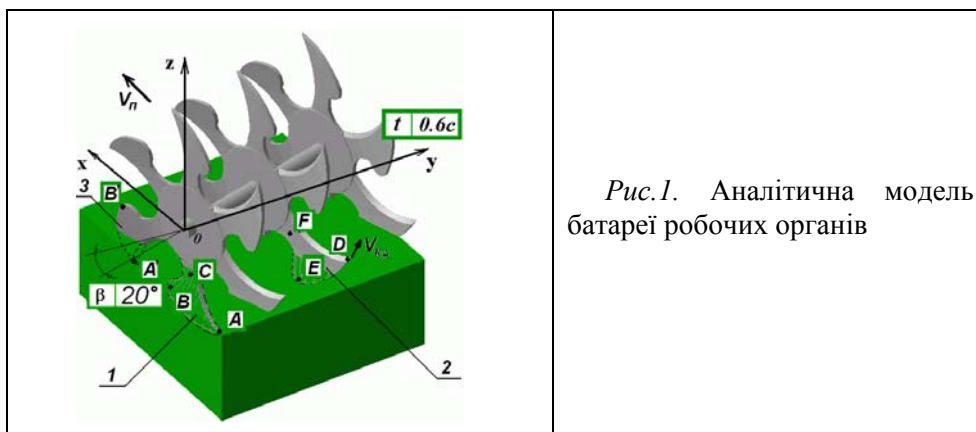


Рис.1. Аналітична модель батареї робочих органів

$$\begin{cases} y_A = 0,035 \cos \beta - 0,33 \sin \beta \cos \omega t; \\ z_A = -0,33 \sin \omega t; \\ y_D = 0,035 \cos \beta - 0,33 \sin \beta \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right) + l \cos \beta, \\ z_D = -0,33 \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right); \end{cases} \quad (1)$$

де β – кут атаки ротора (кут між віссю Oy і проекцією осі обертання ротора на площину xOy); ωt – кут повороту ротора відрахований від осі Ox за годинниковою стрілкою; l – відстань між робочими органами в батареї.

Залежність висоти гребенів і глибини усталеного заорювання [3] від кута атаки та відстані між роторами в батареї, згідно з моделлю [1, 2] та з урахуванням умови заклинювання проміжку між робочими органами та ґрунтом, можна виразити системою рівнянь (1), де перші два рівняння характеризують рух т. А в площині zOy (перпендикулярній напрямку руху МТА), а наступні два – рух т. D в цій же площині, отримуємо значення висоти h_z гребенів на поверхні поля.

Повноту обробітку ґрунту можна охарактеризувати за числовим розв'язком системи рівнянь (2), де окремі рівняння характеризують рух в горизонтальній площині xOy характерних точок: А – ножа-лопати 1 (перше і друге рівняння); В – ножа-лопати 1 (третє і четверте); D – ножа 2 (п'яте і шосте); E – ножа 2 (сьоме і восьме); А' – ножа 3 (дев'яте, десяте); В' – ножа 3 (одинадцять, дванадцять).

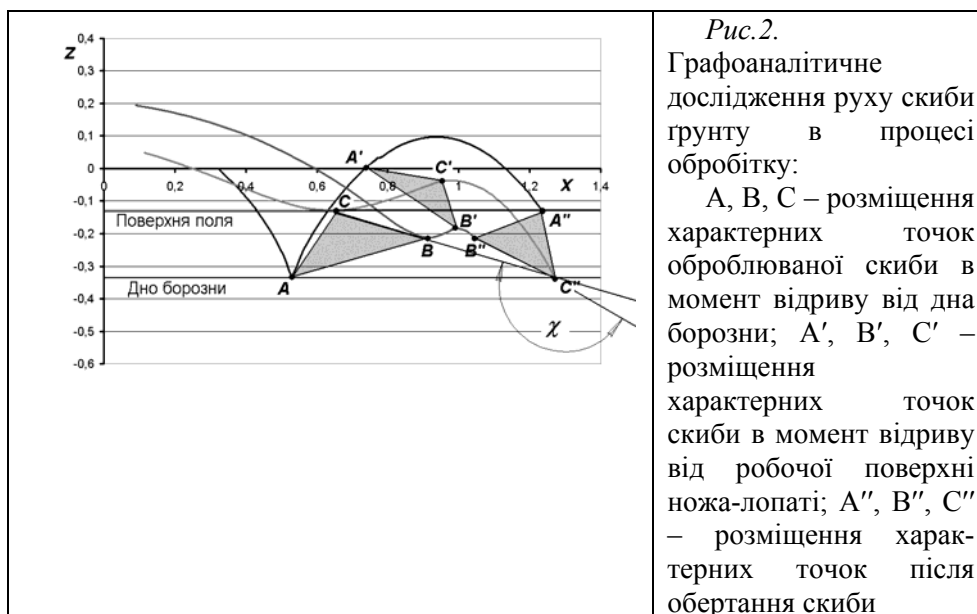
$$\begin{cases} x_A = v_n t + 0,33 \cos \beta \cos \omega t + 0,035 \sin \beta; \\ y_A = 0,035 \cos \beta - 0,33 \sin \beta \cos \omega t; \\ x_B = v_n t + 0,21 \cos \beta \cos \left(\omega t - \frac{66,8^\circ \pi}{180} \right) + 0,033 \sin \beta; \\ y_B = 0,033 \cos \beta - 0,21 \sin \beta \cos \left(\omega t - \frac{66,8^\circ \pi}{180} \right); \\ x_D = v_n t + 0,33 \cos \beta \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right) + 0,035 \sin \beta + l \sin \beta; \\ y_D = 0,035 \cos \beta - 0,33 \sin \beta \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right) + l \cos \beta; \\ x_E = v_n t + 0,21 \cos \beta \cos \left(\omega t - \frac{6,8^\circ \pi}{180} \right) + 0,033 \sin \beta + l \sin \beta; \\ y_E = 0,033 \cos \beta - 0,21 \sin \beta \cos \left(\omega t - \frac{6,8^\circ \pi}{180} \right) + l \cos \beta; \\ x_{A'} = v_n t + 0,33 \cos \beta \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{3} \right) + 0,035 \sin \beta; \\ y_{A'} = 0,035 \cos \beta - 0,33 \sin \beta \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{3} \right); \\ x_{B'} = v_n t + 0,21 \cos \beta \cos \left(\omega t - \frac{126,8^\circ \pi}{180} \right) + 0,033 \sin \beta; \\ y_{B'} = 0,033 \cos \beta - 0,21 \sin \beta \cos \left(\omega t - \frac{126,8^\circ \pi}{180} \right); \end{cases} \quad (2)$$

де v_n – швидкість поступального руху ротора (лінійна швидкість МТА);
 t – час руху.

Для визначення повноти обертання оброблюваного шару ґрунту необхідно проаналізувати динаміку скиби в характерних точках (А, В, С, рис.2) її перерізу [1, 2].

Таблиця. Аналітична модель руху характерних точок скиби ґрунту після сходження з ножа-лопаті

Точка	Формула	Позначення
A	$\begin{cases} x_A = 1,39t + 1,04 - 0,33 \cos \beta + 0,04 \sin \beta; \\ z_A = -\frac{gt^2}{2} + 1,39t. \end{cases}$	(3)
B	$\begin{cases} x_B = 1,39t - 0,8t \cos \beta + 1,04 - 0,08 \cos \beta + 0,03 \sin \beta; \\ z_B = -\frac{gt^2}{2} + 0,34t - 0,19. \end{cases}$	(4)
C	$\begin{cases} x_C = 1,39t - 0,21t \cos \beta + 1,04 - 0,12 \cos \beta; \\ z_C = -\frac{gt^2}{2} + 0,5t - 0,05. \end{cases}$	(5)



Мета досліджень

Встановити зону оптимальних значень кута атаки β та відстані l між роторами в одній батареї, за яких значення висоти гребенів дна борозни h_2 відповідає агротехнологічним вимогам та забезпечується суцільність обробітку ґрунту. Визначити діапазон оптимальних швидкостей v_n лінійного переміщення робочого органу, за яких забезпечується обертання скиби ґрунту.

Методика досліджень

Діапазон оптимальних значень кута атаки β та відстані l між роторами в одній батареї, за яких значення висоти гребенів dna борозни h_z відповідає агротехнологічним вимогам, встановлювався за допомогою комп'ютерного моделювання процесу роботи ротаційно-лопатевого робочого органу (п.2.4, рис.2.19). Числове-імітаційне моделювання виконувалось відповідно до [1, 2] за алгоритмом наведеним на рис.3.

В числову модель визначення висоти гребенів dna борозни, необхідно ввести змінюваний числовий масив даних Ω . Операційні функції (1,2), через порівняння h_z , визначають приналежність β та l до зони їх оптимальних значень, після чого формується цільова функція в числовому вигляді. Після формування цільової функції, через послідовне порівняння змінних значень l і β , отримані числові значення використовуються для побудови поверхні відгуку висоти гребенів dna борозни h_z , в залежності від кута атаки β та відстані l між робочими органами, та номограми для визначення кута атаки β та відстані l між робочими органами в залежності від висоти гребенів dna борозни.

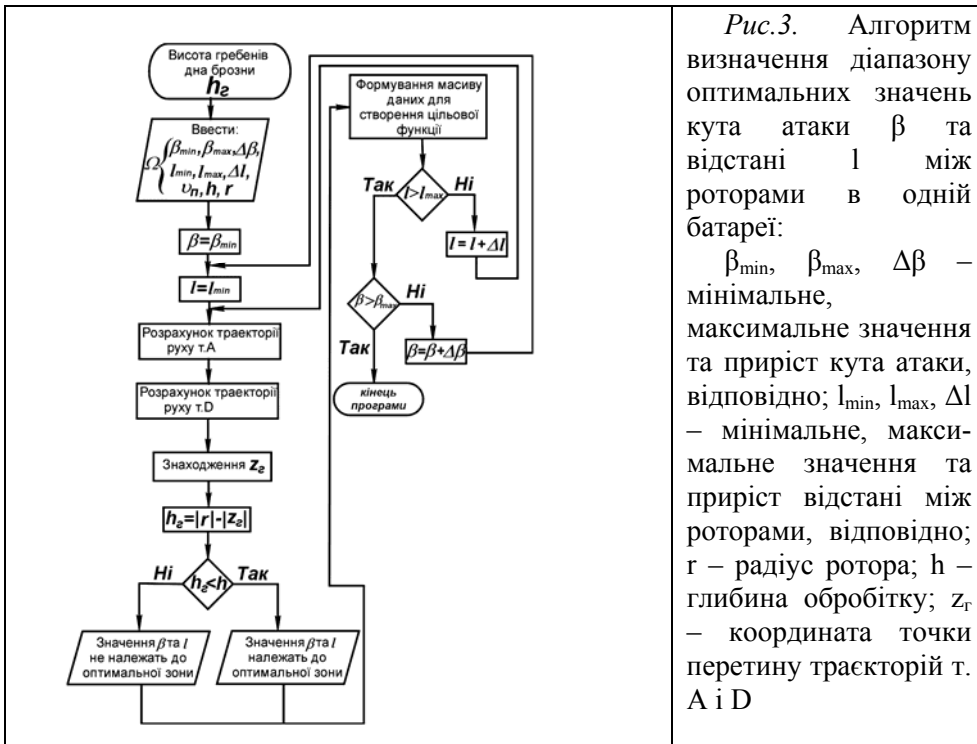


Рис.3. Алгоритм визначення діапазону оптимальних значень кута атаки β та відстані l між роторами в одній батареї:
 β_{\min} , β_{\max} , $\Delta\beta$ – мінімальне, максимальне значення та приріст кута атаки, відповідно; l_{\min} , l_{\max} , Δl – мінімальне, максимальне значення та приріст відстані між роторами, відповідно; r – радіус ротора; h – глибина обробітку; z_{Γ} – координата точки перетину траєкторій т. А і D

Перевірка визначених значень кута атаки β та відстані l між роторами в одній батареї, за яких значення висоти гребенів dna борозни h_z прямує до

мінімуму, виконувалась методами планування екстремального експерименту [4, 5] за планом 2^2 .

Визначення діапазону оптимальних швидкостей v_n лінійного переміщення робочого органу, за яких забезпечується обертання оброблюваної скиби ґрунту, виконувалось за допомогою комп'ютерного моделювання руху характерних точок A, B, C оброблюваної скиби ґрунту (1.5) за алгоритмом наведеним на рис.4

В числову модель визначення кута обороту скиби χ необхідно ввести змінюваний числовий масив Ψ . Операційні функції (1, 2) та (3...5) визначають положення характерних точок A, B, C оброблюваної скиби ґрунту з моменту входження ножа-лопаті в ґрунт до моменту закінчення руху скиби. Після цього формується масив даних, за яким виконується побудова траєкторії руху характерних точок оброблюваної скиби. За траєкторією визначається кут обороту скиби χ , після чого визначається завершеність події повного обертання скиби.

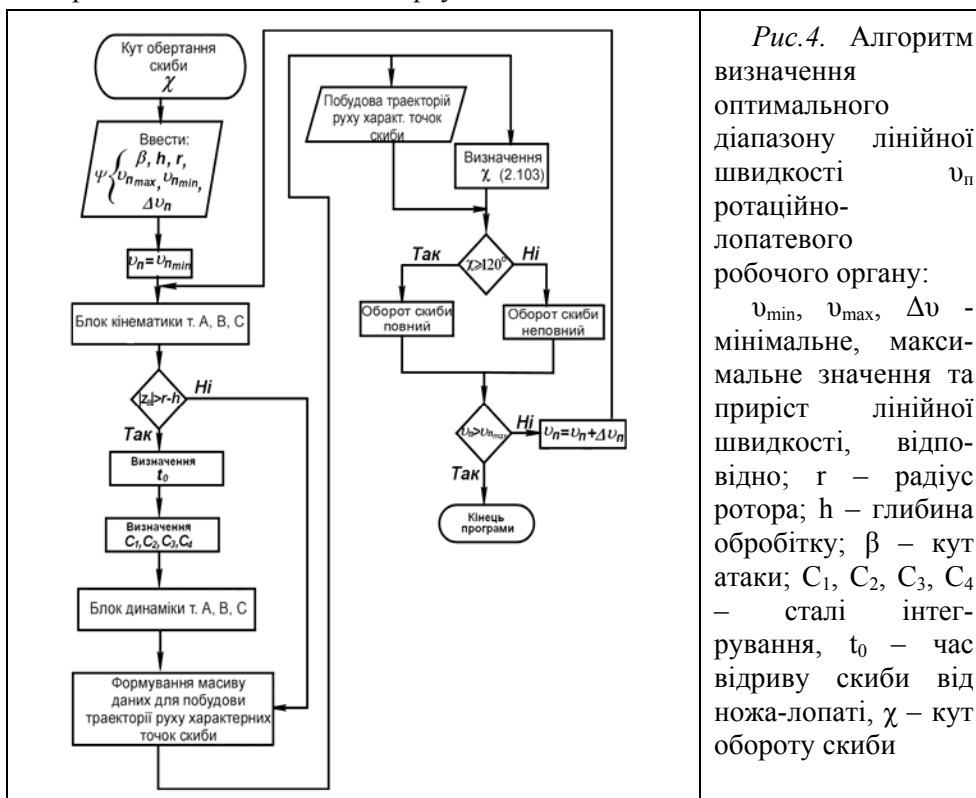


Рис.4. Алгоритм визначення оптимального діапазону лінійної швидкості v_n ротаційно-лопатевого робочого органу:

v_{min} , v_{max} , Δv - мінімальне, максимальне значення та приріст лінійної швидкості, відповідно; r - радіус ротора; h - глибина обробітку; β - кут атаки; C_1, C_2, C_3, C_4 - сталі інтегрування, t_0 - час відриву скиби від ножа-лопаті, χ - кут обороту скиби

Результати досліджень

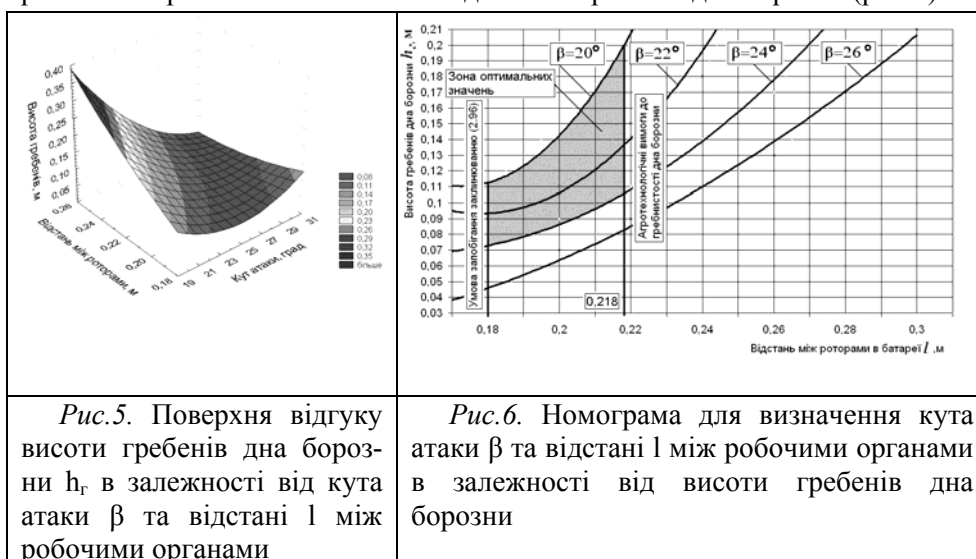
Повний регресивний аналіз результатів комп'ютерного моделювання впливу кута атаки β батареї робочих органів та відстані l між робочими

органами в батареї на висоту гребенів h_2 dna борозни, відповідно до плану двофакторного експерименту 2^2 , дозволив визначити, з детермінацією $R^2 = 0,985$, коефіцієнти регресії відповідного рівняння:

$$h_2 = -0,141 - 2,7 \times 10^{-2} \cdot \beta + 5,731 \cdot l + 2 \times 10^{-3} \cdot \beta^2 - 3,5 \times 10^{-2} \cdot \beta \cdot l + 9,434 \cdot l^2 \quad (6)$$

Визначенні коефіцієнти регресії рівняння (6) дозволяють графічно окреслити поверхню відгуку (рис.5).

Дослідження поверхні відгуку (рис.5) на екстремум дозволяє побудувати номограму для визначення кута атаки β та відстані l між робочими органами в залежності від висоти гребенів dna борозни (рис.6).



Аналіз номограми (рис.6), з врахуванням умови сколювання ґрунту та динаміки зміни показника заробки, дозволяє остаточно встановити такі параметри установки робочих органів:

- ✓ кут атаки батареї робочих органів – $\beta = 20^\circ \dots 24^\circ$ ($\beta_{opt} = 20^\circ$) (4.3);
- ✓ відстань між робочими органами в батареї – $l = 0,18 \dots 0,218$ м.

Дослідження динаміки скиби в характерних точках з використанням комп'ютерного моделювання за різних швидкостей переміщення машинно-тракторного агрегату при сталому куті атаки $\beta_{opt} = 20^\circ$ дозволило встановити, з рівнем довірчої ймовірності $R^2 = 0,969$ залежність кута обертання скиби χ від лінійної швидкості руху робочого органу (рис.7) та для швидкостей $v_n \geq 2$ км/год описати цю залежність поліномом:

$$\chi = -2,542 \cdot v_n^2 + 35,805 \cdot v_n + 57,143 \quad (7)$$

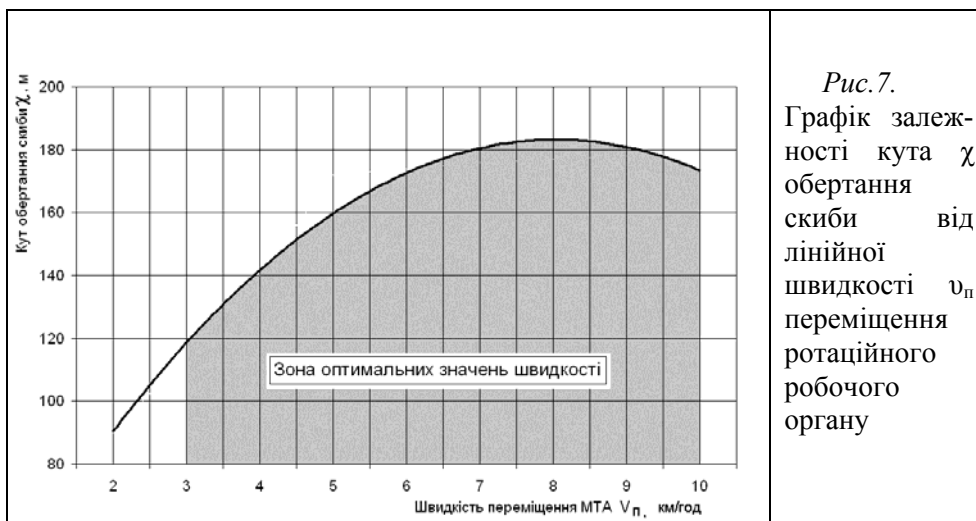


Рис.7.
Графік залежності кута χ обертання скиби від лінійної швидкості v_n переміщення ротаційного робочого органу

Аналіз залежності (рис.7) дозволяє зробити висновок, що зона оптимальних значень швидкості руху машинно-тракторного агрегату лежить в межах: $v_n = 3...10$ км/год, так як за цих швидкостей $\chi \geq 120^\circ$, що, згідно з [3], забезпечує усталене заорювання. Збільшення швидкості понад 10 км/год призводить до інтенсивного розпорушення агрономічно цінної структури ґрунту [6].

Висновки

1. Остаточні встановлені такі параметри установки робочих органів:
 - ✓ кут атаки батареї робочих органів – $\beta = 20^\circ \dots 24^\circ$ ($\beta_{opt} = 20^\circ$);
 - ✓ відстань між робочими органами в батареї – $l = 0,18 \dots 0,218$ м.
2. Зона оптимальних значень швидкості руху машинно-тракторного агрегату лежить в межах: $v_n = 3...10$ км/год, так як за цих швидкостей $\chi \geq 120^\circ$, що забезпечує усталене заорювання.

Перспективи подальших досліджень

Пропонована комп'ютерна модель може бути використана для дослідження широкого спектру ротаційних робочих органів ґрунтообробних знарядь.

Література

1. Кухарець С.М., Шелудченко Б.А., Забродський П.М. Кінематична модель ротаційного ґрунтообробного знаряддя // Вісн. Держ. агроєколог. ун. – 2002. – №1. – С.133–137.
2. Кухарець С.М. Обґрунтування процесу роботи та параметрів ротаційно-лопатевого робочого органу ґрунтообробного знаряддя. Дис. ... канд. техн. наук:05.05.11. – Житомир. – 2003. – 197с.

3. *Листопад Г.Е., Демидов Г.К., Зонов Б.Д., и др.//* Под общ. ред. Г.Е. Листопада - Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Агропромиздат. – 1986. – 688 с.
 4. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. - М.: Высшая шк. – 1982. – 224с.
 5. Оптимизация рабочих процессов и параметров строительных и мелиоративных машин: Учеб. пособие / Э.А.Сухарев, С.Ф.Медвидь. – К.:УМК ВО. – 1992. – 92с.
 6. *Шелудченко Б.А.* Агромеханіка ґрунтів. – Житомир: Полісся. – 1992. – 249с.
-
-