

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ БОРОНУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ**Кульбашнік В.І., магістрант***(Державний біотехнологічний університет)*

Теоретичні дослідження процесу роботи робочих органів і БФА проводилися з використанням основних положень вищої математики і теоретичної механіки, експериментальні дослідження проведені в лабораторно-польових умовах з використанням методу планування багатофакторного експерименту і математичного моделювання. Обробку отриманих даних здійснювали на основі методів математичної статистики з використанням ПЕОМ та програм MathCad і Microsoft Excel [1-6].

На ранневесняній підгодівлі в залежності від погодних умов і стану посівів застосовуються: машини для поверхневого внесення твердих мінеральних добрив, зернові сівалки для прикореневого підживлення. Недолік цих варіантів технологій полягає в великій трудомісткості процесів підгодівлі і боронування, пов'язаній з роздільним виконанням операцій, а також неякісній заробці туків в ґрунт серійними машинами для поверхневого внесення. Значно покращують технологію пружинні борони, але вони недостатньо ефективні на боронуванні ущільнених ґрунтів і на злитих чорноземах. Якісне розпушування таких ґрунтів забезпечують серійні ротаційні мотики, але вони не обладнані пристроями для одночасного внесення добрив. Удосконалення таких агрегатів з усуненням зазначених недоліків і входить в наші завдання [7-11].

Виявлене в результаті аналізу стану питання по застосовуваних технологіях, машин для весняного підживлення і боронування озимих посівів, обґрунтуванню параметрів і режимів роботи машин, дозволяє зробити висновок, що рівень знань про закономірності якісної заробки добрив в ґрунт, її кришенню і структурно-агрегатному складу, енергоємності процесу, можна підвищити за допомогою спеціального технічного засобу, який поєднує виконання операцій внесення мінеральних добрив з їх одночасним закладенням в ґрунт ротаційними робочими органами. Була обґрунтована конструктивно-технологічна схема багатофункціонального агрегату (БФА), який поєднує за один прохід по полю боронування посівів озимої пшениці з одночасним внесенням і заробкою в ґрунт мінеральних добрив, розроблена математична модель оптимізації конструктивних і режимних параметрів БФА. Аналіз технологій і робочих органів машин для весняного підживлення озимих культур з одночасним боронуванням посівів дозволив обробити конструктивно-технологічну схему БФА. Відмінною особливістю пропонованого нового робочого органу для боронування посівів і закладення мінеральних добрив в ґрунт (рис. 1) є наявність в ньому загостреного пружинного зуба, що забезпечує кришення ґрунту з малою енергоємністю і незначне відкидання її частинок по ходу агрегату, а також повне закладення туків в верхній шар ґрунту. На рис. 2

представлена схема руху голчастого диска. Якісні показники роботи ротаційних робочих органів залежать від різних параметрів. Ґрунт пластичний, тому траєкторія руху центру диска являє собою не відрізки кіл з радіусом, рівним радіусу колеса, а хвилясту лінію з плавними переходами. При цьому кінець голки диска буде описувати хвилясту циклоїду.

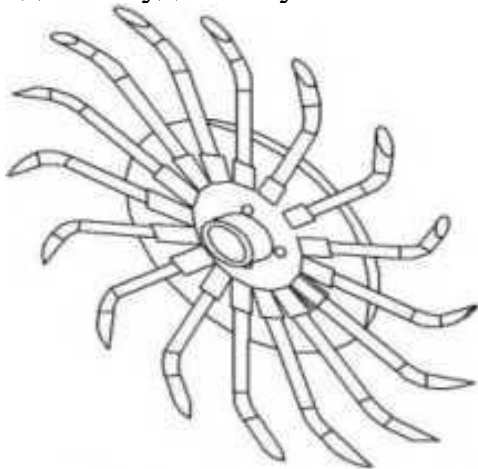


Рисунок 1 – Робочий орган ротаційної борони

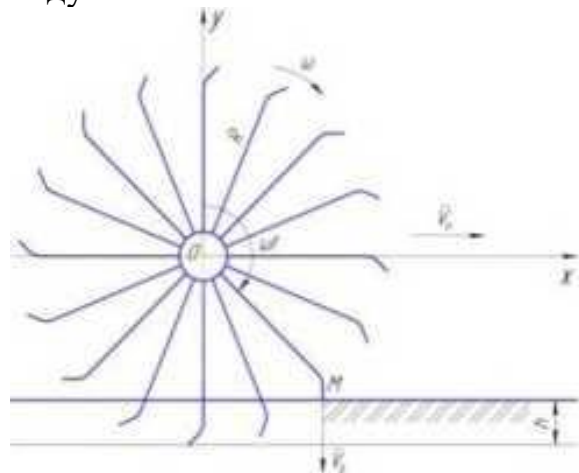


Рисунок 2 – Схема руху голчастого диска

Щоб зменшити втрати добрив за рахунок випаровування, отвір, утворений голкою, має бути мінімальним. Досягти цього можна в тому випадку, якщо в момент входу голки в ґрунт вектор абсолютної швидкості кінця її буде перпендикулярний поверхні ґрунту.

Рівняння, що описують траєкторію руху кінця голок голчастого диска, мають вигляд:

$$x = R \cdot \sin \omega t + V_n t, \quad (1)$$

$$y = R \cdot \cos \omega t + \frac{R}{2} \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot (\cos \frac{\omega t \pi}{\alpha} - 1), \quad (2)$$

де ω – кутова частота обороту диска, с^{-1} ; R – радіус диска, м; 2α – кут між голками, град; t – час, с.

Диференціюючи ці рівняння по часу, отримаємо:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = V_n \cdot (\lambda \cos \omega t + 1), \quad (3)$$

$$V_y = \frac{dy}{dt} = \lambda \cdot V_n \cdot \frac{\pi}{2d} \cdot (\cos \alpha - 1) \cdot \sin \frac{\omega t \pi}{\alpha} - \lambda \cdot V_n \cdot \sin \omega t. \quad (4)$$

Модуль абсолютної швидкості кінця голки визначиться по формулі:

$$V_a = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}. \quad (5)$$

Приймаючи $\frac{\lambda \pi}{\alpha} \cdot (\cos \alpha - 1) = A$ і підставивши формули (3) і (4) рівняння (5),

після перетворень отримаємо:

$$V_a = V_n \cdot \sqrt{1 + \lambda^2 + 2\lambda \cdot \cos \omega t + \frac{1}{4} \cdot A^2 \cdot \sin^2 \frac{\omega t \pi}{\alpha} - \lambda A \cdot \sin \frac{\omega t \pi}{\alpha} \cdot \sin \omega t}. \quad (6)$$

Модуль абсолютного прискорення визначиться по формулі:

$$W = \omega^2 R \cdot \sqrt{1 + B^2 \cos^2 \frac{\omega t \pi}{\alpha} - 2B \cdot \cos \frac{\omega t \pi}{\alpha} \cdot \cos \omega t}, \quad (7)$$

де $B = \frac{\pi^2}{2\alpha^2} \cdot (\cos \alpha - 1)$.

Запишемо вирази направляючих косинусів вектора абсолютної швидкості кінця голки:

$$\cos(V, x) = \frac{\frac{dx}{dt}}{\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}}, \quad (8)$$

$$\cos(V, y) = \frac{\frac{dy}{dt}}{\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}}. \quad (9)$$

Підставивши в формули (8) і (9) необхідні дані, після перетворень знайдемо:

$$\cos(V, x) = \frac{\lambda \cos \omega t + 1}{\sqrt{1 + \lambda^2 + 2\lambda \cdot \cos \omega t + \frac{1}{4} \cdot A^2 \cdot \sin^2 \frac{\omega t \pi}{\alpha} - \lambda A \cdot \sin \frac{\omega t \pi}{\alpha} \cdot \sin \omega t}}, \quad (10)$$

$$\cos(V, y) = \frac{\lambda \cdot \frac{\pi}{2d} \cdot (\cos \alpha - 1) \cdot \sin \frac{\omega t \pi}{\alpha} - \lambda \cdot \sin \omega t}{\sqrt{1 + \lambda^2 + 2\lambda \cdot \cos \omega t + \frac{1}{4} \cdot A^2 \cdot \sin^2 \frac{\omega t \pi}{\alpha} - \lambda A \cdot \sin \frac{\omega t \pi}{\alpha} \cdot \sin \omega t}}. \quad (11)$$

Вектор абсолютної швидкості кінця голки буде перпендикулярний поверхні поля, якщо:

$$\cos(V, y) = -1. \quad (12)$$

Виконуючи вимогу (12) і перетворюючи вираз (11), отримаємо:

$$\lambda^2 \cdot \cos^2 \omega t + 2\lambda \cdot \cos \omega t + 1 = 0. \quad (13)$$

В момент входу голки в ґрунт (рис. 2):

$$\omega t = \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{R-h}{R}.$$

Тоді вираз (13) після перетворень має вид:

$$\lambda^2 \cdot \left(\frac{R-h}{R}\right)^2 - 2\lambda \cdot \frac{R-h}{R} + 1 = 0. \quad (14)$$

Вирішуючи рівняння (14) відносно λ , маємо:

$$\lambda = \frac{R-h}{R}. \quad (15)$$

Оптимізація параметрів БФА і режимів його роботи виконана методом математичного моделювання процесу його роботи на внесення мінеральних добрив з одночасним боронуванням посівів. Блок-схема алгоритму оптимізації параметрів і режимів роботи пропонуваного БФА представлена на рис. 3.

Дослідження з оптимізації параметрів і режимів роботи БФА проведені на полі господарства. Вихідні дані для розробки математичної моделі: інтервал значень коефіцієнта питомого опору ґрунту (R_{az}), питома маса навісної машини (m_{mv}), потужність двигуна трактора $N_e = 58,2$ кВт; інтервал ширини захвату агрегату (B_{az}), швидкості руху (V_p), ємності бункера (V_{δ}), робочої довжини гону (L_p). Річне завантаження трактора (T_q), машини, маса трактора тягового класу 1,4, значення коефіцієнта використання тягового зусилля трактора прийняті за довідковими даними [8]. Критерій оптимізації мінімум витрат сукупної енергії (E_{azp}) на виконання технологічного процесу боронування посівів озимої пшениці з одночасною підгодівлею визначали по виведеній нами формулі (16).

$$E_{azp} = \frac{\frac{G_{mp} \cdot e_{mp} \cdot C_{від_{mp}}}{100 \cdot T_{Г_{mp}}} + \frac{G_{сзм} \cdot e_{сзм} \cdot C_{від_{сзм}}}{100 \cdot T_{Г_{сзм}}} + n \cdot e_{ж} + e_{dm} \cdot q_e}{W} \rightarrow \min, \quad (16)$$

де E_{azp} – питомі сукупні витрати енергії на розроблювальний виробничий процес, МДж/га; W – годинна продуктивність БФА, га/год; G_{mp} – маса трактора, кг; $G_{сзм}$ – маса сільськогосподарської машини, кг; e_{mp} і $e_{сзм}$ – енергетичні еквіваленти на виробництво, і експлуатацію, відповідно, трактора і ротаційної борони з розкидачем мінеральних добрив, МДж/кг, ($e_{mp} = 86,4$ МДж/кг, $e_{сзм} = 75$ МДж/кг); $C_{від_{mp}}$ і $C_{від_{сзм}}$ – відрахування на амортизацію, ремонт і зберігання, відповідно, трактора і сільгоспмашини, %; ($C_{від_{mp}} = 26,3\%$, $C_{від_{сзм}} = 28,2\%$); $T_{Г_{mp}}$ і $T_{Г_{сзм}}$ – нормативне річне завантаження, відповідно, трактора і сільгоспмашини, год, ($T_{Г_{mp}} = 1095$ год., $T_{Г_{сзм}} = 180$ год.); n – кількість механізаторів, чол.; $e_{ж}$ – енергетичний еквівалент витрат живого праці, МДж/люд.-год., ($e_{ж} = 43,4$ МДж/люд.-год.); q_e – годинна витрата палива при виконанні виробничого процесу, л/год; e_{dm} – енергетичний еквівалент палива, МДж/л, ($e_{dm} = 52,8$ МДж/л); τ – коефіцієнт використання робочого часу зміни при роботі заданого агрегату, який визначається по виведеній нами формулі (оператор № 4, рис. 3):

$$\tau = \frac{12,46L_p}{7300 \cdot V_p \cdot \left(\frac{4,5 \cdot B_{az} L_p}{10^4 \cdot V_{\delta} \cdot 596} + \frac{L_p}{500 \cdot V_p} + \frac{12B_{az} + 8,8}{5000} \right)}, \quad (17)$$

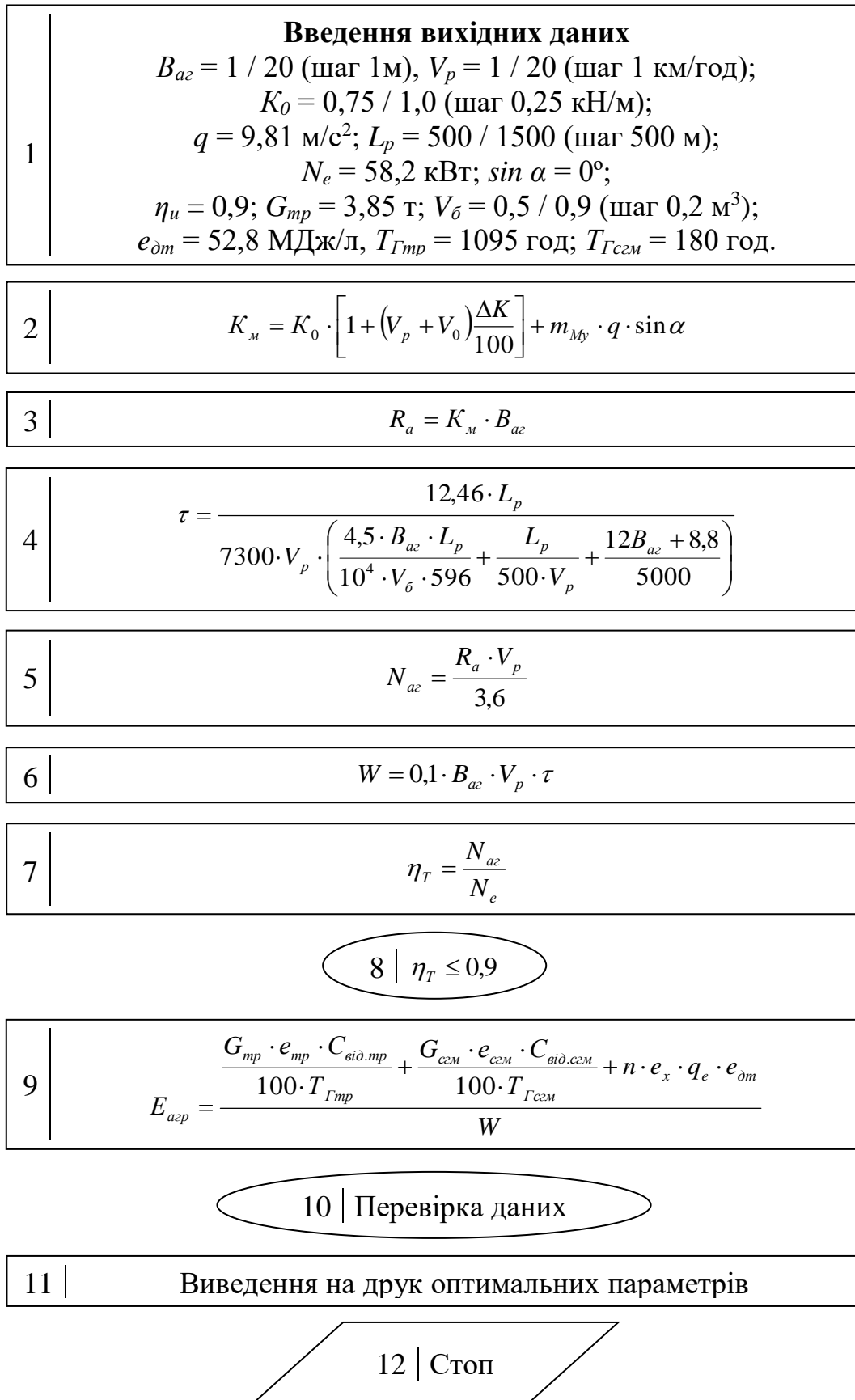


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму оптимізації параметрів і режимів роботи БФА

Список літератури

1. Харченко С.О. Напрямок в розробці агротехнологій блочно-варіантних систем для господарств різних технологічних рівнів / С.О. Харченко, О.І. Анікеєв, М.О. Цыганенко, О.Д. Калюжний, Г.В. Рудницька, В.В. Качанов, О.М. Красноруцький, С.А. Чигрина, К.Г. Сировицький, Є.А. Гаєк // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, Вип. 156, – 2015.- С. 174-179.
2. Мельник В.И. Экономическая эффективность элементов системы точного земледелия / В.И. Мельник, А.И. Аникеев, М.А. Цыганенко, К.Г. Сыровицкий // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, Vol. 17, No. 7, – 2001. -С. 61-66.
3. Аникеев А.И. К вопросу повышения эффективной процесса уборки урожая путем внедрения элементов агрологистики / А.И. Аникеев, М.А. Цыганенко, К.Г. Сыровицкий, А.Р. Коваль // Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 18, № 7. Polish Academy of Sciences. 2016. – С.49 – 54.
4. Цыганенко М.О. Оптимізація процесу збирання та транспортування врожаю зернових культур з використанням бункера-накопичувача // М.О. Цыганенко, К.Г. Сировицький, О.А. Романащенко // Інженерія природокористування, № 2 (10), – 2018. с. 87-93.
5. Аникеев А.И. К вопросу повышения эффективной процесса уборки урожая путем внедрения элементов агрологистики / А.И. Аникеев, М.А. Цыганенко, К.Г. Сыровицкий, А.Р. Коваль // Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 18, № 7. Polish Academy of Sciences. 2016. – 49 - 54.
6. Аникеев А.И. Моделирование процесса уборки и подготовки к хранению кукурузы на зерно / А.И. Аникеев, А.Д. Калюжний, К.Г. Сыровицкий / Інженерія природокористування №8 (2), 2017,– стр. 84-89.
7. Експлуатація та сервіс техніки. Частина І. Трактори. Навчальний посібник. / С.О. Харченко, О.В. Адамчук, О.І. Анікеєв, К.Г. Сировицький, Є.А. Гаєк, І.С. Тіщенко, Д.О. Харченко. За ред. С.О. Харченка. – Х.: ТОВ «Планета-Прінт», 2020. - 140 с.
8. Довідник з машиновикористання в землеробстві : навч. посібник / В.І. Пастухов, А.Г. Чигрин, П.А. Джолос та ін.; за редакцією В.І. Пастухова. – Харків: ООО «Веста», 2001. – 343с.
9. Ковтун Ю. І. Технологічна блочно-варіантна система машиновикористання в землеробстві України: монографія. Частина 1/ Ю. І. Ковтун [та ін.] – Х.: ТОВ «Планета-Прінт», 2020. - 204 с.
10. Експлуатація машин і обладнання. Навчальний посібник : Каталог сільськогосподарської техніки / О. В. Нанка [та ін.] ; за ред. В. І. Мельника. – Х.: ТОВ «Планета-Прінт», 2021. - 594 с.
11. Анікеєв О.І. Моделювання структури комплексів машин у рослинництві / О.І. Анікеєв, К.Г. Сировицький, Г.С. Михалевич, А.О. Бойко // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Молодь і технічний прогрес в АПВ». – 2020.- С. 132-134.