

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛЕННЯ ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ ПО ПОЛЮ КУЗОВНИМ РОЗКИДАЧЕМ

Представлено методика та результати механіко-математичного моделювання розподілення органічних добрив по полю кузовним розкидачем з новими робочими органами. Встановлено закономірності зміни ширини захвату і нерівномірності внесення добрив у залежності від параметрів робочих органів.

Постановка проблеми

Збереження родючості ґрунтів і забезпечення населення екологічно чистими продуктами харчування у достатній кількості є одними з найбільш важливих загальнодержавних завдань. Проте, згідно із статистичними даними, за період з 1990 по 2007 роки спостерігається значне зниження урожайності зернових культур, зокрема, урожайність озимої пшениці зменшилася з 40,2 до 23,9 ц/га, а ярої пшениці – з 30,2 до 17,6 ц/га [1]. При цьому, за вказаний період майже у 22 рази зменшилася кількість внесених органічних добрив, і, враховуючи зменшення поголів'я худоби, виникає потреба у підвищенні ефективності застосування органічних добрив, для чого необхідно підвищувати якість їх внесення.

Аналіз останніх досліджень та постановка завдання

Аналіз наукових досліджень складових системи «машина–добрива–поле» дозволив встановити, що, в основному, науковці вирішують задачу про знаходження лише ширини внесення добрив [2, 3, 4], а теоретичні моделі для визначення нерівномірності внесення твердих органічних добрив розробляють для машин, що оснащені відцентровими тарілчастими дисками з лопатками. Тому виникає необхідність в наукових дослідженнях, спрямованих на встановлення нових закономірностей робочих процесів машин для внесення ТОД, використання яких дозволить удосконалити конструкції машин для забезпечення ними більш рівномірного розподілення добрив на загальній і робочій ширині захвату.

Об'єкти та методика досліджень

Об'єктом дослідження є технологічний процес внесення твердих органічних добрив кузовними машинами. Предмет дослідження – закономірності зміни

ширини захвату та нерівномірності внесення органічних добрив від параметрів машини для внесення твердих органічних добрив. Дослідження проводилися з використанням методів механіко-математичного моделювання.

Результати досліджень

Аналіз стану питання дозволив встановити, що рух частинок матеріалу у повітряному середовищі достатньо висвітлений у літературних джерелах [2, 3, 4]. При цьому, для польоту частинок органічних добрив, науковці, в основному, пропонують враховувати опір повітря, пропорційний другому ступеню швидкості руху, а для розрахунку дальності польоту найчастіше використовується наближене рівняння А.В. Волкова [2]. Проте, розвиток сучасної обчислювальної техніки і прикладних програм дозволяє знаходити точні розв'язки систем рівнянь польоту частинок добрив методами чисельного інтегрування, для чого найчастіше використовують метод Рунге-Кутта 4-го порядку.

Для побудови механіко-математичної моделі руху частинки органічних добрив у повітряному середовищі розглядаємо рух центру мас частинки, при цьому не враховуємо її обертання та швидкість вітру, а опір повітря приймаємо, як і більшість дослідників, пропорційний другому ступеню швидкості руху

$$R_i = k_i mV^2, \quad (1)$$

де R_i – опір повітря, Н;

k_i – коефіцієнт парусності, m^{-1} ;

V – лінійна швидкість частинки добрив, м/с.

Диференціальні рівняння руху частинки у проекціях на осі системи координат $O\xi\eta_1\zeta$ (рис. 1) записуємо таким чином:

$$\begin{cases} m\ddot{\xi} = -k_1 mV^2 \cos\alpha_1'' ; \\ m\ddot{\eta}_1 = -k_1 mV^2 \cos\alpha_2'' ; \\ m\ddot{\zeta} = -mg - k_1 mV^2 \cos\alpha_3'' , \end{cases} \quad (2)$$

де $\cos\alpha_1''$, $\cos\alpha_2''$, $\cos\alpha_3''$ – направляючі косинуси між напрямком швидкості руху частинки V і осями координат $O\xi$, $O\eta_1$, $O\zeta$, відповідно, відн. од.

Значення направляючих косинусів та лінійної швидкості руху частинки визначаємо з відомих залежностей:

$$V = \sqrt{\dot{\xi}^2 + \dot{\eta}_1^2 + \dot{\zeta}^2} . \quad (3)$$

Підставивши значення направляючих косинусів і швидкості руху частинки у систему рівнянь (2), отримаємо:

$$\begin{cases} \ddot{\xi} = -k_1 \dot{\xi} \sqrt{\dot{\xi}^2 + \dot{\eta}_1^2 + \dot{\zeta}^2}; \\ \ddot{\eta}_1 = -k_1 \dot{\eta}_1 \sqrt{\dot{\xi}^2 + \dot{\eta}_1^2 + \dot{\zeta}^2}; \\ \ddot{\zeta} = -g - k_1 \dot{\zeta} \sqrt{\dot{\xi}^2 + \dot{\eta}_1^2 + \dot{\zeta}^2}. \end{cases} \quad (4)$$

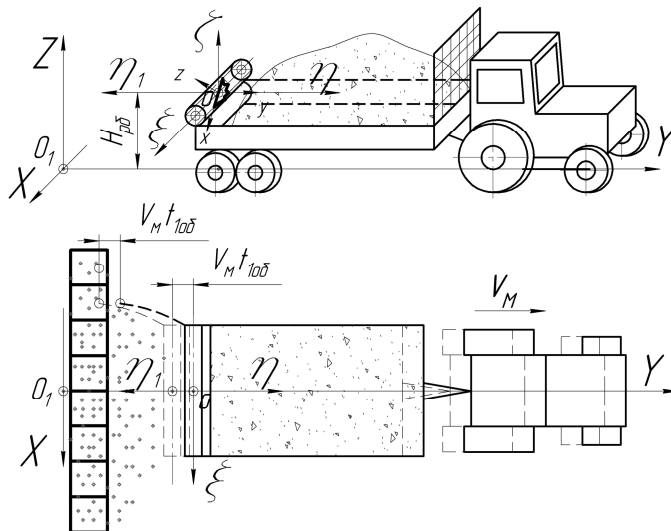


Рис. 1. Схема для побудови математичної моделі польоту і розподілення добрив

Початковими умовами для числового рішення системи (4) є координати сходу частинки з робочого органу $\{\xi_0, \eta_{10}, \zeta_0\}$ та її початкова швидкість сходу $\{\dot{\xi}_0, \dot{\eta}_{10}, \dot{\zeta}_0\}$. У свою чергу, система координат $O\xi\eta_1\zeta$, що є нерухомою відносно до робочого органу, відносно поля рухається поступально зі швидкістю трактора. Тому для системи відліку, що нерухомо зв'язана з полем (O_1XYZ), формули переходу набудуть такого виду:

$$\begin{cases} X = \xi = x_c \cos \beta + z_c \sin \beta; \\ Y = Y_0 - \eta_1 + v_1 t = Y_0 - x_c \sin \beta \sin(\theta_0 + \omega t) - \\ \quad - y_c \cos(\theta_0 + \omega t) + z_c \cos \beta \sin(\theta_0 + \omega t) + v_1 t; \\ Z = Z_0 + \zeta = H_{\text{дв}} - x_c \sin \beta \cos(\theta_0 + \omega t) + \\ \quad + y_c \sin(\theta_0 + \omega t) + z_c \cos \beta \cos(\theta_0 + \omega t), \end{cases} \quad (5)$$

де Y_0 – початкове значення координати Y , м;

Z_0 – початкове значення координати Z , м;

$H_{\text{дв}}$ – висота встановлення РБ, м.

У результаті моделювання встановлювали момент часу t , коли частинка добрив падає на землю, що відповідає координаті $Z(t) = 0$, та визначаємо координати $X(t)$ та $Y(t)$.

Для кожної частинки встановлюємо закономірності зміни координати їх розподілу по полю ξ_i у залежності від кутової швидкості РБ ω_p та кута встановлення РО β

$$\xi_i = f(\omega_p, \beta). \quad (6)$$

Використовуючи формулу (6), вирішуємо задачу зі встановлення такої закономірності

$$B_p = f(\omega_p, \beta), \quad (7)$$

де B_p – робоча ширина захвату, м.

Для цього спочатку визначаємо розрахункову загальну ширину захвату

$$B_{\text{од}i} = B_p + 2 \cdot \xi_i, \quad (8)$$

де $B_{\text{од}i}$ – розрахункова загальна ширина захвату машини, що визначається i -ою частинкою добрив, м;

B_p – ширина кузова, м.

Оскільки, згідно з науковими основами механізації, внесення органічних добрив, розроблених М.М. Марченком та В.В. Воропаєвим [3], для розкидачів вантажопідйомністю 6 т оптимальна робоча ширина захвату становить 8 м, за критерій якості найкращого розподілу добрив приймали забезпечення робочої ширини захвату машини $B_p = 8$ м при найменших значеннях кутової швидкості розкидального барабана ω_p .

У результаті аналізу отриманих закономірностей (7) встановлено раціональні значення подальших конструктивно-технологічних параметрів РО: кутова швидкість розкидального барабана $\omega_p = 63 \dots 70$ рад/с, кут встановлення РО до осі барабана $\beta = 48 \dots 50^\circ$.

Для забезпечення умов самоочищення лопатки робочого органу і конструкційного розміщення на барабані машини МТО-6 6-ти секцій робочих органів та 7-ми секцій робочих органів на барабані машини ПРТ-7А було прийнято значення кута встановлення $\rho\theta = 50^\circ$.

Після розподілу добрив всіма робочими органами барабану, машина переміщується на відстань, яка визначається її швидкістю руху V_M та часом $t_{1об}$ одного оберту барабану. Відстань $V_M t_{1об}$ відраховуємо від кожного попереднього положення осі барабану вздовж осі OY і відносно нового положення осі $O\xi$ наносимо сукупність точок розподілу добрив, таким чином отримуємо детерміновану модель розподілу добрив. В результаті підрахунку кількості частинок, що потрапили в кожний з протвень розмірами $0,5 \times 0,5$ м, визначаємо масу добрив у них та будуюмо теоретичні гістограми розподілу добрив (рис. 2 – 3).

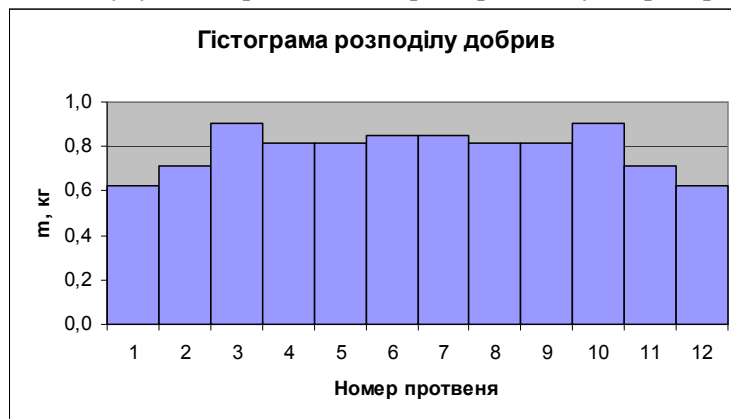


Рис. 2. Теоретична гістограма розподілу добрив для розкидального барабана з 6-ма чвертьеліпсними розподілювачами [6] при $\omega_p = 70$ рад/с (ширина захвату: загальна – 7 м, робоча – 6 м, перекриття – 1 м; доза внесення 31,4 т/га, нерівномірність – 12,34 %)

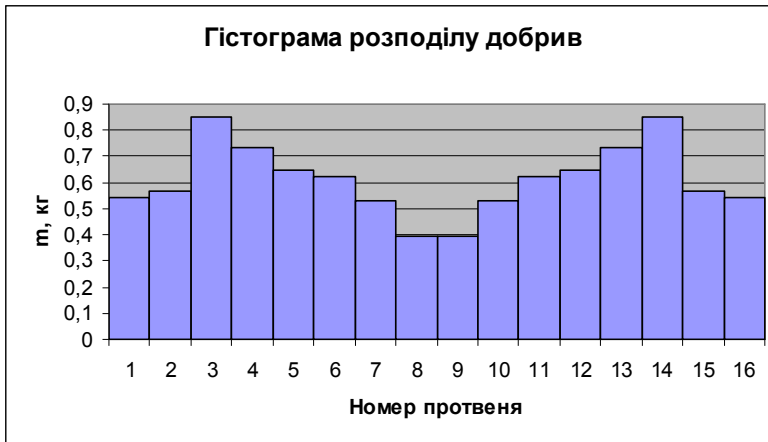


Рис. 3. Теоретична гістограма розподілу добрив для розкидального барабана з 4-ма півеліпсними і 2-ма чвертьеліпсними розподілювачами [5] при $\omega_p = 70$ рад/с (ширина захвату: загальна – 10 м, робоча – 8 м, перекриття – 2 м; доза внесення – 24,4 т/га, нерівномірність – 21,74 %)

Висновки

У результаті використання розроблених математичних моделей (4, 5) встановлено закономірності зміни ширини захвату і нерівномірності внесення добрив від параметрів барабана:

1. Для розкидального барабана, оснащеного 6-ма чвертьеліпсними розподілювачами, при зміні кутової швидкості ω_p з 70 до 100 рад/с загальна ширина захвату B_o зростає з 7 до 10 м, нерівномірність внесення добрив на ній збільшується з 26,05 % до 55,05 %. При цьому, робоча ширина захвату B_p зростає з 6 до 8 м, а нерівномірність внесення добрив – з 12,34 % до 38,53 %.

2. Для розкидального барабана, оснащеного 2-ма чвертьеліпсними та 4-ма півеліпсними розподілювачами, при зміні кутової швидкості ω_p з 70 до 100 рад/с загальна ширина захвату B_o зростає з 10 до 12 м, нерівномірність внесення добрив на ній збільшується з 45,33 % до 57,81 %. При цьому, робоча ширина захвату B_p зростає з 8 до 9 м, а нерівномірність внесення добрив – з 21,74 % до 31,52 %.

Перспективи подальших досліджень

Подальші дослідження будуть спрямовані на встановлення закономірностей зміни потужності на привід розкидальних барабанів від їх параметрів та властивостей добрив.

Література

1. Статистичний щорічник України за 2007 рік / Держ. комітет статистики України; за ред. *О.Г. Осауленка*. – К.: Консультант, 2008. – 571 с.
 2. *Марченко Н.М.* Механизация внесения органических удобрений / *Н.М. Марченко, Г.И. Личман, А.Е. Шебалкин*. – М.: ВО «Агропромиздат», 1990. – 207 с.
 3. *Марченко Н.М.* Исследование факторов, определяющих основные показатели работы прицепов-навозоразбрасывателей / *Н.М. Марченко, В.В. Воропаев* // Научные основы механизации внесения органических удобрений. – М., «Колос», 1974. – С. 174 – 248.
 4. *Узеринов Л.Г.* Совершенствование технологии переработки подстилочного навоза с разработкой измельчителя-разбрасывателя органических удобрений: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / Узеринов Леонид Георгиевич; Мичурин. гос. аграр. ун-т.– Мичуринск, 2006.– 23 с.
 5. Пат. 83293 Україна, МПК А01С 3/06. Розкидач органічних добрив / *А.С. Малиновський, С.М. Герук, С.М. Хоменко* [та ін.]; заявник Державний вищий навчальний заклад «Державний агроекологічний університет». – № а 200610636; заявл. 07.11.2006; опублік. 25.06.2008. Бюл. № 7, 2008 р.
 6. Пат. 45367 Україна, МПК А01С 3/06. Розкидальний барабан розкидача органічних добрив / *С.М. Хоменко*; заявник *С.М. Хоменко*. – № у 200904867; заявл. 18.05.2009; опублік. 10.11.2009. Бюл. № 21, 2009 р.
-
-