Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 3, 61-66*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.03.061

УДК 631.331

МОДЕЛЮВАННЯ ГРУНТООБРОБНО-ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ

Т. В. Гайдай

Державна наукова установа «Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого», Україна.

Стаття зі спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторки: tanusha-h@ukr.net.

Історія статті: отримано – квітень 2020, акцептовано – серпень 2020.
Бібл. 17, рис. 2, табл. 1.

Анотація. Дослідження спрямовані на підвищення ефективності техніко-технологічного процесу висіву сидеральних дрібнонасінних культур поєднанням технологічних операцій ґрунтооброблно-посівним агрегатом та вдосконаленням конструкційних параметрів розсіювача. Запропоновано схему ґрунтооброблно-посівного агрегата з розсіювачем та керівним засобом і визначено концепцію функціонування технологічного процесу ґрунтооброблно-посівного агрегата.

Для дослідження технологічного процесу сівби дрібнонасінних культур, який реалізується ґрунтооброблно-посівним агрегатом (ГПА), важливо побудувати математичну модель динаміки процесу для подальшої оптимізації як самого процесу, так і параметрів висівного апарата.

Моделювання включає розроблення моделі динаміки руху ГПА полем, враховуючи відповідні сили тяги й опору, моменти повороту і моменти опору повороту трактора, а також розрахунки параметрів виходу посівного матеріалу з насіннєвого бункера, оцінки динаміки його руху насіннєпроводом до точки контакту з розсіювачем і формули розсіювання насіння на ґрунті після виходу з насіннєпроводу.

Отриманими моделями можна визначити технічні параметри різних робочих пристосувань, які входять в ГПА, з точки зору їхньої узгодженості функціонування для якісного виконання завдання.

Основна увага сконцентрована на визначенні конструкційних параметрів елементів ГПА на базі побудови та досліджень відповідних математичних моделей та розрахункових виразів.

У цьому напрямку за миттєвої швидкості ГПА ($V_{аг}$) проводилось дослідження з визначення оптимальних компонентів: геометричних конструкційних параметрів та кутової швидкості котушки ($\omega_к$), початкової швидкості насіння в насіннєпроводі, заданої повітронагнітачем ($V_{пн}$), кута нахилу пластини розсіювача (β) та висоти його установки над поверхнею ґрунту ($H_Д$).

Удосконаленою математичною моделлю можна моделювати ґрунтооброблно-посівні агрегати з різною робочою шириною.

Ключові слова: розсіювачі, ґрунтооброблно-посівний агрегат, концепція, математична модель, блок якості, блок технологічності, мінімізація функціоналів, рівномірність розсіювання.

Постановка проблеми

В умовах зниження використання органічних добрив актуальним є забезпечення ґрунту поживними речовинами на основі альтернативних та доступних джерел. Найпростіший, найбільш економічний, екологічно чистий, «природний» спосіб – це використання сидеральних культур, тобто рослин, які швидко формують зелену масу і вирощуються спеціально для відновлення ґрунту.

На цей час в Україні налічується близько 46 тис. малих та середніх господарств з розмірами угідь до 2000 га, і для яких актуальним є застосування зелених добрив. До 50 % таких господарств застосовують зелені добрива, і 20 % великих господарств з розмірами угідь понад 2000 га використовують зелені добрива. У Європі під ярі культури засівається сидератами майже 100 % угідь.

Базовими сидеральними культурами в умовах Лісостепу є гірчиця, ріпак, фацелія, які відносяться до дрібнонасінних культур, а допоміжними – горох, люпин, гречка та ін.

Найбільш поширеними схемами сівби сидеральних культур є:

- традиційна (дискування + сівба звичайними сівалками+коткування);
- суміщена (дискування, сівба та коткування відбувається комбінованими ґрунтооброблно-посівними агрегатами).

Виробництва таких ґрунтооброблно-посівних агрегатів в Україні немає, вони імпортні і дорогі.

Аналіз останніх досліджень

Аналітичними дослідженнями проаналізовано конструкційно-компонувальні схеми ґрунтооброблно-посівних агрегатів (ГПА), внаслідок чого запропоновано схему ГПА (рис. 1), яка дає змогу використову-

вати поширені на ринку серійні або спеціалізовані ґрунтообробні знаряддя, як ґрунтообробні модулі з відповідними для загортання дрібнонасінних культур агротехнічними показниками, які дооснащуються висівними модулями з розсіювачами та засобом керування процесом висіву.

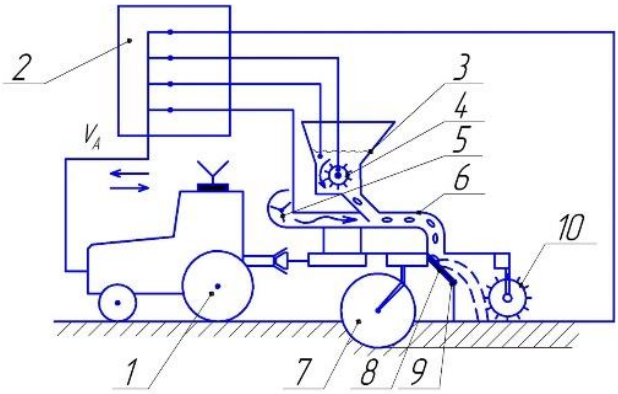


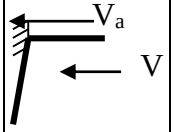
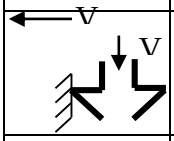
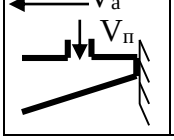
Рис. 1. Узагальнена схема ґрунтообробно-посівного агрегата для сівби сидеральних культур: 1 – ходова система, 2 – контрольований бортовий інформаційний комп'ютер, 3 – висівний модуль, 4 – висівна котушка, 5 – повітронагнітач, 6 – насіннєпровід, 7 – ґрунтообробні секції сферичних дисків, 8, 9 – тарілчастий розсіювач, 10 – коток.

Fig. 1. Generalized scheme of soil-tilling and planting unit for sowing green manure crops: 1 − undercarriage, 2 − controlled on-board computer, 3 − sowing module, 4 – seed roller, 5 – compressor fan, 6 − seed line, 7 − soil-tilling sections of concave disks, 8, 9 − dished scatterer, 10 – roller.

Також проаналізовано конструкції розсіювачів (табл. 1) різних модифікацій, які за аналізом експертних висновків не в повній мірі забезпечують рівномірність висіву. Тому запропоновано схему тарілчастого розсіювача та оптимізацію його параметрів.

Таблиця 1. Схеми модифікацій розсіювачів та їхні характеристики

Table 1. Schemes of modifications of scatterers and their characteristics

Схема розсіювача	Недоліки
	Велика кількість розсіювачів і рукавів. Збільшена потужність привода котушки через звужену епюру розкидання. Пошкодження насіння через наближене до прямого кута розміщення пластини
	Наявність незасіяних міжрядь на краях розворотних смуг та інертність зупинки потоку повітронасіннєвої суміші на розворотах
	Висока нерівномірність розкидання насіння по поверхні ґрунту через винос флуктуацій повітронасіннєвої суміші, спричинених відбиванням від двох площин розсіювача і з'єднувальної їх площини

Важливо забезпечити рівномірність розподілу насіння на поверхні ґрунту ґрунтообробно-посівним агрегатом, оптимізуючи процеси руху агрегата та норми висіву і конструкційні параметри розсіювачів, застосовуючи інформаційно-керівний засіб.

Мета досліджень

Мета цієї роботи полягає у підвищенні ефективності техніко-технологічного процесу сівби сидеральних культур поєднанням технологічних операцій ґрунтообробно-посівним агрегатом та вдосконаленням конструкційних параметрів тарілчастого розсіювача.

Результати досліджень

Для моделювання ГПА запропонована концепція, яка визначає послідовність технологічних процесів (перетворень) та автоматизоване управління режимами роботи складових модулів у реальному часі, відображає покроковий технологічний процес висіву за критеріями системного узгодження вимог агротехнології, а також розроблена системо-аналогова модель функціонування ланцюгових технологічних перетворень як функціональних блоків: технологічності та якості висіву.

Блок технологічності (F_1) забезпечує стабільність технології – досягнення встановленої норми висіву насіння $N_з$ залежно від швидкості руху агрегата V_{ar} у визначених координатах (x,y).

Блок якості висіву насіння пов'язує роботу пневматичного насіннєпроводу та конструкційні параметри тарілчастого розсіювача (кут розкриття розсіювача, висота його установки та швидкість повітронасіннєвої суміші).

Дослідження параметрів функціональних блоків представлено математичними моделями. Динаміку руху ГПА та параметри висівного апарата котушкового типу в складі трактора (з колісною формулою 4К2) і посівного агрегата адаптовано до умов криволінійного руху (за аналогією досліджень А. М. Ємельянова). Для визначення руху агрегата на площині *x0y* використовували систему рівнянь Лагранжа другого роду з урахуванням усіх сил і моментів сил криволінійного руху.

Рішення цієї системи дає змогу розрахувати напрям сили тяги ГПА до основної осі руху *β*, миттєву швидкість V_{a2} його центра мас у координатах *x, y:*

$$m \cdot \left(\ddot{x} + l_1 \cdot (cos\beta \cdot \dot{\beta}^2 + sin\beta \cdot \ddot{\beta})\right) = \sum_{i=1}^{2}\left(P_{ki} - P_{fi}\right) \cdot \cos(\beta + \alpha) + \sum_{i=3}^{4}\left(P_{ki} - P_{fi}\right) \cdot \cos\beta - P_{kp} \cdot \cos(\beta - \gamma); \quad (1)$$

$$m \cdot \left(\ddot{y} + l_1 \cdot (sin\beta \cdot \dot{\beta}^2 - cos\beta \cdot \ddot{\beta})\right) = \\ = \sum_{i=1}^{2} \left(P_{ki} - P_{fi}\right) \cdot \sin(\beta + \alpha) \\ + \sum_{i=3}^{4} \left(P_{ki} - P_{fi}\right) \cdot \sin\beta + P_{kp} \\ \cdot \sin(\beta - \gamma);$$

$$m \cdot l_1 \cdot \left(\ddot{x} \cdot sin\beta - \ddot{y} \cdot cos\beta + l_1 \cdot \ddot{\beta}\right) = \\ = \sum_{i=1}^{2} \left(P_{ki} - P_{fi}\right) \cdot l_1 \cdot \sin\alpha \\ + \sum_{i=3}^{4} \left(P_{ki} - P_{fi}\right) \cdot \frac{B}{2} - P_{kp} \cdot \left(l_{kp} + l_2\right) \\ \cdot \sin\gamma - M_{сп},$$

де P_{k3}, і P_{k4} - дотичні сили тягових коліс, P_f R_f - сила опору коченню коліс, P_{kp} – сила на гаку трактора, $M_{сп}$ - момент сили опору повороту навколо точки О - центра осі тягових коліс, l_2 – відстань від задньої осі до зведеного центра мас МТА трактора, м; γ – кут між напрямком дії крюкової сили P_{kp} та осьовою лінією трактора, град; β – кут між горизонталлю і лінією сили тяги, град, l_{kp} – відстань від задньої осі до зчіпного пристрою (гака), м; x, y - координати місця розташування центра мас ГПА на місцевості.

Друга частина блоку технологічності - забезпечення норми видачі насіння що є функцією характеристик посівного матеріалу, параметрів та режимів роботи котушки та включають кутову швидкість висівної котушки ω_{ri} на кожній і-ій ділянці, характеризуються виразом (2) (за параметрами дослідженими в роботах Л. В. Погорілого, П. В. Сисоліна, Л. В. Аніскевича):

$$\omega_{r_i} = H_{з_i}/(q_0 \cdot T_i), \qquad (2)$$

де $H_{зі}$ - поточні витрати посівного матеріалу за визначеною нормою висіву, необхідна для *і*–ї ділянки, г; q_0 - кількість насіння, яку виштовхує котушка з насіннєвого бункера за 1 оберт, г/об; T_i - час для технологічної обробки ділянки поля площею ΔS_i, *с*.

У запропонованій схемі розсівання посівного матеріалу забезпечується пневмопроводами. У пневмопроводі на насінину діє низка сил, які в поєднанні з конструкційними параметрами пневмопровода забезпечують її кінетичну енергію, а їх сукупність, стикаючись між собою, формує потік, базовою характеристикою якого є функція щільності розподілу. У загальному випадку вважаємо розподіл насіння в поперечному перерізі на виході відповідає нормальному (Гаусовому) закону розподілу та описується виразом (за аналогією з дослідженнями Малофєєва В. Ю):

$$f(x,y) = \frac{1}{\pi R^2} \cdot e^{-\frac{3 \cdot x \cdot tg\varphi}{\alpha \cdot z_o}}, \qquad (3)$$

де R – радіус трубки насіннєпроводу, м; α- коефіцієнт, який враховує втрати енергії під час зіткнень; z_0 – висота падіння насінин на тарілчастий розсіювач з моменту входу в насіннєпровід, м; φ – кут нахилу трубки насіннєпровода, град.

Дослідження сконцентровані на розсіювачі, для цього було вибрано раціональну конструкцію розсіювача тарілчастого типу (рис 2). Базовими чинниками розсіювача обрано: незмінні параметри - діаметр розсіювача (d) та кут установки розсіювача (φ); змінні - швидкість повітронасіннєвої суміші ($V_{пн}$), кут розкриття розсіювача (β) і висота його установки на агрегаті ($H_Д$).

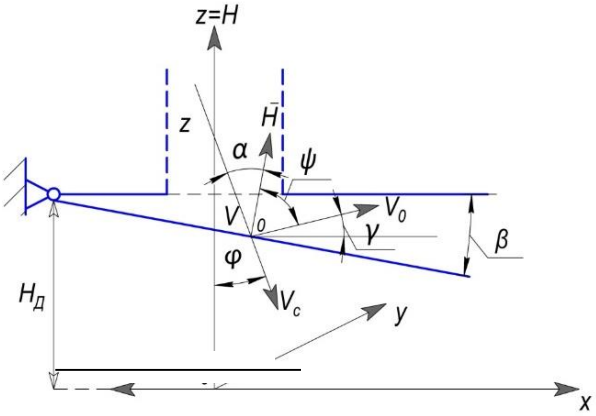


Рис. 2. Розрахункова схема зміни руху насіння в тарілчастому розсіювачі.

Fig. 2. Analytic model of seeds travel changes in a plate scattered.

Ділянка розсіювання під час руху ґрунтообробно-посівного агрегата характеризується відстанню відскоку насіння $x_{пад}$ після падіння на нижню пластину розсіювача (дальністю польоту):

$$x_{пад} = \frac{V_0 \cdot cos\gamma \cdot \left(V_0 \cdot sin\gamma + \sqrt{V_0{}^2 \cdot sin^2\gamma + 2 \cdot g \cdot \mathbf{H}_Д}\right)}{g}, \qquad (4)$$

де швидкість насіння, яку воно набуло після удару об нижню пластину розсіювача V_0, м/с; кут γ між вектором початкової швидкості $\overline{V}_0$ *і* віссю *Ox*, град; висота установки розсіювача над поверхнею ґрунту $H_Д$, м.

Аналітичні вирази дозволяють визначити дальність насіння під різними кутами відбиття від нижньої пластини розсіювача, зона розсіювання та площу засіву.

Площі засіву служать представленням щільності розподілу, яку приймаємо близькою до щільності нормального розподілу за законом Гаусса і в цьому випадку отримали вираз:

$$f_n(x,y) = f_{nx}(x) \cdot f_{ny}(y) = \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}\right) \cdot \\ \frac{1}{\sigma_y\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2}\right) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} exp\left(-\left(\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)\right), \qquad (5)$$

де m_x, m_y – математичне очікування та $\sigma_x\sigma_y$ – середні квадратичні відхилення нормально розподілених випадкових величин в координатах x,y.

Також можемо розрахувати кількість насіння (K_{ni}), яке потрапило на елементарну ділянку S_{ri} в координатах x,y за нормального розподілу:

$$K_{ni} = K \cdot \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \iint_{S_{ri}} exp\left(-\left(\frac{(x-\hat{m}_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-\hat{m}_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)\right) dxdy, \qquad (6)$$

де *K* – кількість насіння за встановленою нормою висіву, шт/м^2.

Взаємодія функціональних блоків технологічності F_1 та якості висіву F_2 досягається реалізацією процедури мінімізації.

Мінімізація блоку технологічності F_1 $(V_{аг}, N_з)$- суми квадратів відхилення реально витраченого посівного матеріалу за час від початку процесу до поточного часу T за всіма $i=1,2,3\ldots$ елементарними часовими кроками від необхідних витрат посівного матеріалу $\Delta H_{з_i}$, розрахованих виходячи із заданої норми висіву $N_з$:

$$F_1 = \sum_i B^2 \cdot V_{аг_i}^2 \cdot \Delta T_i{}^2 \cdot [N_{r_i} - N_з]^2 = \sum_i \Delta S_i{}^2 \cdot [N_{r_i} - N_з]^2 \quad (7)$$

де N_r - кількість насіннєвого матеріалу, максимально наближена до заданої норми, шт/м^2; $N_з$ - задана норма, шт./м^2; S_{ri} – площа і-ої ділянки, м^2.

Мінімізація блоку якості F_2 $(V_{пн}, H_Д, \beta)$ - сума квадратів різниці між кількістю насіння, яке потрапило на ділянки S_{ri}, для нормальної і рівномірної щільності розподілу на всіх M_i ділянках:

$$F_2 = \sum_{i=1}^{M} [K_{ri} - K_{ni}]^2 = K^2 \cdot \sum_{i=1}^{M} \iint_{S_{r_i}} \left[\frac{1}{S_r} - \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} exp\left(-\left(\frac{(x-\hat{m}_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-\hat{m}_y)^2}{2\sigma_y^2} \right) \right) \right]^2 dxdy \quad (8)$$

Використовували підхід оптимізації параметрів складної системи за допомогою функціоналів, критерієм яких у цьому випадку є забезпечення норми, наближеної до заданої та рівномірності, наближеної до рівномірного розподілу.

Мінімізуючи функціонали ми знаходимо оптимальні параметри.

Висновки

1. Концепція та системо-аналогова модель передбачають синтез двох блоків через систему інформаційно-керівного засобу (ІКЗ), тобто класичний підхід до визначення взаємозв'язків окремими підсистемами об'єкта, тобто поєднання роботи двох функціональних блоків: технологічності, забезпечення установленої норми висіву у разі зміни швидкості агрегата та блоку якості висіву, що визначається параметрами повітряного насіннєпроводу і тарілчастого розсіювача.

2. Аналітичні дослідження функціонального блоку технологічності визначають параметри (модель) динаміки криволінійного руху ГПА. Отримано математичні моделі технологічного процесу відповідно до розробленого алгоритму синтезу показників функціональних блоків і схеми керування; визначаються різницею показників двох блоків, оптимізуючи залежність норми висіву від руху ГПА, роботи котушкового апарата і рівномірності розсіювання, що є похідною від параметрів і режимів роботи насіннєпровода і тарілчастого розсіювача.

3. Удосконалена математична модель руху ГПА на полі, модель динаміки висівного апарата котушкового типу та виконано оцінювання динаміки руху насіння насіннєпроводом та аналітичні вирази для розрахунку смуги розсіювання насіннєвого матеріалу.

Список літератури

1. *Гайденко О., Кернасюк Ю.* Оцінка дискових агрегатів. The Ukrainian Farmer. 2013. №10, (47) жовтень. С. 94-95.

2. *Гриненко О., Маринін С.* Доцільність використання ґрунтообробних агрегатів з гнучким кріпленням робочих органів. Техніка і технології АПК. 2011. №2, (17). С. 32-33.

3. *Шевченко І. А.* Керування агрофізичним станом ґрунтового середовища. Київ. Видавничий дім «Вініченко», 2016. 320 с.

4. *Гапоненко О. І.* Обґрунтування параметрів пружних стояків дискових ґрунтообробних агрегатів: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.05.11. Нац. університету біоресурсів і природокористування України. Київ, 2017. 23 с.

5. *Кушнарев А., Шевченко И., Дюжаев В., Кушнарев С.* Механика взаимодействия рабочих органов на упругой подвеске с почвой. Техника АПК. 2008. №8. С. 22-25.

6. *Кушнарьов С. А.* Обґрунтування енергозберігаючого технологічного процесу обробітку ґрунту та параметрів пружинних робочих органів для умов південної степової зони України: дис. … канд. техн. наук.: 05.20.01. Ін-т механізації та електрифікації сіл. госп-ва УААН. Глеваха, 1999. 189 с.

7. *Донченко М. А.* Влияние автоколебаний и релаксационных колебаний на эффективность применения упругих стоек при культивации почвы: автореф. дис. … канд. техн. наук: спец. 05.20.01. Северо-Западный научно- исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. Санкт-Петербург-Павловск, 2004. 18 с.

8. *Шевченко И. А.* Экспериментально-теоретическое обоснование параметров рабочих органов с упругими стойками культиваторов для предпосевной обработки почвы: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.20.01. Москва, 1988. 19 с.

9. *Лабатюк Ю. М., Алієв Е. Б.* Математичне моделювання процесу взаємодії робочого органу глибокорозпушувача з ґрунтом. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2015. Вип. 5. Т. 2. С. 133-140.

10. *Безухов Н. И.* Теория упругости и пластичности. Москва. ГИТТЛ, 1953. 420 с.

11. *Демидов С. П.* Теория упругости. Москва. Высшая школа, 1979. 431 с.

12. *Тимошенко С. П., Гудьер Дж.* Теория упругости. Москва. Наука, 1973. 576 с.

13. *Шемякин Е. И.* Динамические задачи теории упругости и пластичности. Новосибирск: НГУ. 1968. 338 с.

14. *Биргер И. А., Мавлютов Р. Р.* Сопротивление материалов. Москва. Наука. 1986. 560 с.

15. *Тимошенко С. П.* Курс теории упругости. Киев: Наукова думка, 1972. 508 с.

16. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Haponenko O. I., Ohiienko M. M., Kulik V. P.* Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. 2020. Bucharest. Vol. 60. No 1. P. 45-52. doi: 10.35633/ INMATEH-60-05.

17. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Rosamaha Yu. O., Blesnyuk O. V., Ohiienko M. M. Ohiienko A. V.* Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. INMATEH. Agricultural Engineering. 2019. Bucharest. Vol. 58. No 2. P. 137-146. doi: 10.35633/INMATEH-58-15.

References

1. *Haidenko O., Kernasiuk Yu.* (2013). Evaluation of disk aggregates. The Ukrainian Farmer. 10(47). 94-95.

2. *Hrynenko O., Marynin S.* (2011). Expediency of use of tillage units with flexible fastening of working tools. Tekhnika i tekhnolohii APK. 2(17). 32-33.

3. *Shevchenko I. A.* (2016). Management of agrophysical condition of the soil environment. Kyiv. Vydavnychyi dim «Vinichenko». 320.

4. *Haponenko O. I.* (2017). Substantiation of parameters of elastic risers of disk tillage tools: avtoref. dys. … kand. tekhn. nauk: 05.05.11. Nat. universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Kyiv, 23.

5. *Kushnarev A., Shevchenko Y., Diuzhaev V., Kushnarev S.* (2008). Mechanics of interaction of working tools on elastic suspension with soil. Tekhnyka APK. 8. 22-25.

6. *Kushnarov S. A.* (1999). Substantiation of energy-saving technological process of tillage and parameters of spring working tools for the conditions of the southern steppe zone of Ukraine: dys. … kand. tekhn. nauk.: 05.20.01. In-t mekhanizatsii ta elektryfikatsii sil. hosp-va UAAN. Hlevakha, 189.

7. *Donchenko M. A.* (2004). Influence of self-oscillations and relaxation oscillations on efficiency of application of elastic racks at soil cultivation: avtoref. dys. … kand. tekhn. nauk: spets. 05.20.01. Severo-Zapadnыi nauchno- yssledovatelskyi ynstytut mekhanyzatsyy y эlektryfykatsyy selskoho khoziaistva. Sankt-Peterburh-Pavlovsk, 18.

8. *Shevchenko Y. A.* (1988). Experimental and theoretical substantiation of the parameters of working tools with elastic tines of cultivators for presowing soil cultivation: avtoref. dys. … kand. tekhn. nauk: 05.20.01. Moscow, 19.

9. *Labatyuk Yu. M., Aliyev E. B.* (2015). Mathematical modeling of the process of interaction of the working tools of the deep cultivator with the soil. Naukovij visnik Tavrijskogo derzhavnogo agrotekhnologichnogo universitetu. 5(2). 133-140.

10. *Bezukhov N. Y.* (1953). The theory of elasticity and plasticity. Moscow. HYTTL, 420.

11. *Demydov S. P.* (1979). Elasticity theory: uchebnyk. Moscow. Vysshaia shkola, 431.

12. *Tymoshenko S. P., Huder D.* (1973). Elasticity theory. Moscow. Nauka, 576.

13. *Shemiakyn E. Y.* (1968). Dynamic problems of the theory of elasticity and plasticity. Novosybyrsk: NHU, 338.

14. *Byrher Y. A., Mavliutov R. R.* (1986). Strength of materials: Uchebnoe posobye. Moscow. Nauka, 560.

15. *Tymoshenko S. P.* (1972). Elasticity theory course. Kyiv: Naukova dumka, 508.

16. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Haponenko O. I., Ohiienko M. M., Kulik V. P.* (2020). Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. 60(1). 45-52. doi: 10.35633/INMATEH-60-05.

17. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Rosamaha Yu. O., Blesnyuk O. V., Ohiienko M. M. Ohiienko A. V.* (2019). Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. INMATEH. Agricultural Engineering. 2019. 58(2). 137-146. doi: 10.35633/INMATEH-58-15.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕ-ПОСЕВНЫХ АГРЕГАТОВ

Т. В. Гайдай

Аннотация. В данной работе исследования направлены на повышение эффективности технико-технологического процесса высева сидеральных мелкосемянных культур за счет сочетания технологических операций почвообрабатывающе-посевным агрегатом (ППА) и совершенствованием конструктивных параметров рассеивателя.

Предложена схема почвообрабатывающе-посевного агрегата с рассеивателем и управляющим средством, а также определена концепция функционирования технологического процесса почвообрабатывающе-посевного агрегата.

Для исследования технологического процесса посева мелкосемянных культур, который реализуется ППА, важным является построение математической модели динамики процесса для дальнейшей оптимизации как самого процесса, так и параметров высевающего аппарата.

Моделирование включает разработку модели динамики движения ППА полем, учитывая соответствующие силы тяги и сопротивления, моменты поворота и моменты сопротивления поворота трактора, а также расчеты параметров выхода посевного материала с семенного бункера, оценки динамики его движения семяпроводов к точке контакта с рассеивателем и формулы рассеяния семян на почве после выхода из семяпроводов.

Полученные модели позволяют определить технические параметры различных рабочих приспособлений, входящих в ППА, с точки зрения их соответствия деятельности для качественного выполнения задания.

Основное внимание сконцентрировано на определении конструктивных параметров элементов ГПА на базе построения и исследований соответствующих математических моделей и расчетных выражений.

В этом направлении проводилось исследование по определению оптимальных компонентов: геометрических конструкционных параметров и угловой скорости

катушки ($\omega_к$), начальной скорости семян в семяпроводов, заданной воздухонагнетателем ($V_{вн}$), угла наклона пластины рассеивателя (β) и высоты его установки над поверхностью почвы ($H_Д$).

Усовершенствованная математическая модель позволяет моделировать почвообрабатывающе-посевные агрегаты с разной рабочей шириной.

Ключевые слова: рассеиватели, почвообрабатывающе-посевной агрегат, концепция, математическая модель, блок качества, блок технологичности, минимизация функционалов, равномерность рассеивания.

MODELING OF SOIL TILLING AND PLANTING UNIT

T. V. Gayday

Abstract. This research is aimed at increasing the efficiency of the technical and technological process of small-seeded green manure crops sowing by combining technological operations of a soil-tilling and planting unit (STPU) and improving the design parameters of the scatterer.

A scheme of a soil-tilling and planting unit with a scatterer and a control means is proposed, and a concept of the functioning of the technological process of a soil-tilling and planting unit is determined.

To study the technological process of small-seeded crops sowing, which is implemented by the STPU, it is important to build a mathematical model of the dynamics of the process for further optimization of both the process itself and the parameters of the sowing apparatus.

The simulation includes the development of a model of the dynamics of the STPU travel on the field, taking into account the corresponding traction and resistance forces, the turning moments and the moments of resistance to turning of the tractor, as well as the calculation of the parameters of the seed output from the seed hopper, the dynamics of its travel in the seed tubes to the point of contact with the scatterer and the seed scattering formula on the soil after exiting the seed tubes.

The obtained models allow us to determine the technical parameters of various working devices included in the STPU, from the point of view of their compliance with the activities for the quality of the task.

The main attention is focused on determining the design parameters of STPU elements based on the construction and research of relevant mathematical models and calculation expressions.

In this direction, a study was carried out to determine the optimal components: geometric design parameters and the angular velocity of the seed roller (ωк), the initial seed speed in the seed tubes specified by the compressor fan (V_{cf}), the angle of inclination of the diffuser plate (β) and its height above the soil surface (H_s))

An advanced mathematical model allows you to simulate tillage and sowing units with different working widths.

Key words: scatterers, soil-tilling and planting unit, concept, mathematical model, quality block, processability block, minimization of functionals, scattering uniformity.

Т. В. Гайдай ORCID 0000-0001-9141-4820.