

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ГРУНТООБРОБНО-ПОСІВНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ СІВБИ СИДЕРАЛЬНИХ КУЛЬТУР

Гайдай Т.,

e-mail: tanusha-h@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-9141-4820>

ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

Анотація

Мета. У статті наведена системо-аналогова модель функціонування технологічного процесу комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата, яка представлена математичними моделями.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження виконано з використанням положень, законів і методів класичної механіки, математики та статистики.

Результати. У статті запропоновано перспективну технологію для сівби сидеральних культур та доцільність використання комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів (КГПА).

Для моделювання КГПА нами запропонована концепція та системо-аналогова модель функціонування технологічного процесу як два функціональні блоки: блок технологічності (установлена норми висіву зі зміною швидкості агрегата) та блок якості висіву (рівномірність висіву визначеними параметрами насіннепроводу і тарілчастого розсіювача).

Дослідження параметрів функціональних блоків представлено математичними моделями КГПА (миттєвої швидкості машинно-тракторного агрегата V_{ar} в координатах місцерозташування, динамічних параметрів висівного апарата котушкового типу на кожній i -й ділянці та динаміки руху насіння по насіннепроводу).

На основі аналітичних розрахунків визначено величину ділянки розсіювання $x_{пад}$, щільності розподілу насіння по ширині та напрямку руху агрегата $f(x, y)$ залежно від швидкості повітряно-сіннєвої суміші $V_{пн}$ і конструкційних параметрів тарілчастого розсіювача: кутів розкриття нижньої пластини розсіювача β та висоти його установки H_d на агрегаті.

Параметри узгоджені між собою як схема взаємодії функціональних блоків технологічності та якості висіву. Представлено принципи синергетичного синтезу показників комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата та складові функціоналів технологічності (F_1) і якості (F_2). Запропонована схема управління технологічними процесами в лабораторних і польових дослідженнях.

Висновки. На основі досліджень запропоновано базу для моделювання та проектування комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів дрібнонасіннєвих сидеральних культур.

Ключові слова: системо-аналогова модель, комбінований ґрунтообробно-посівний агрегат, тарілчастий розсіювач, рівномірність розсіювання, управління процесом висіву.

Виклад основного матеріалу. За аналізом сучасного стану техніко-технологічних рішень для висіву сидеральних культур визначено перспективну технологію та напрями розроблення технічних рішень.

Перспективна технологія включає технологічні операції (боронування, сівба та коткування), які здійснюються комбінованим ґрунтообробно-посівним агрегатом модульного типу, який складається з силового агрегата з датчиком швидкості;

ґрунтообробних секцій сферичних дисків; висівного модуля котушкового типу; повітрянагнітача, насіннепроводів, тарілчастих розсіювачів, котка та інформаційно-керівного засобу для управління технологічним процесом висіву. Дозування насіння здійснюється котушковим механізмом, його транспортування та розсів елементами пневмо-ударно-гравітаційної дії з тарілчастими розсіювачами [1,2].

Запропонована концепція і системо-а-

налогова модель функціонування двох блоків технологічності та якості комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата (рис.1).

Блок технологічності (F_1) забезпечує стабільність технології – досягнення встановленої норми висіву насіння N_3 залежно від швидкості руху агрегата V_{ag} .

Блок якості (F_2) – рівномірність розсіву насіння на оброблюваній площі S залежить від параметрів: швидкості агрегата V_{ag} , норми висіву N_3 , швидкості транспортування насіння V_{nn} у пневматичному насіннепроводі, параметрів тарілчастого розсіювача (кут розкриття пластини – β та установки його по висоті H_d і ширині L_p агрегата).

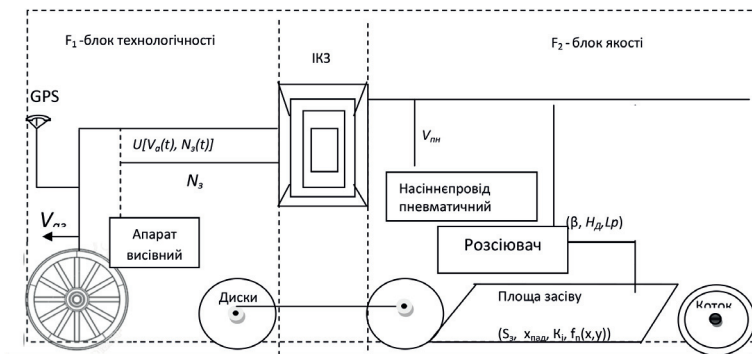


Рисунок 1 – Системо-аналогова модель комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата для сівби сидеральних культур з поєднанням блоків технологічності та якості

Управління технологічним процесом блоків F_1 і F_2 здійснюється інформаційно-керівним засобом (ІКЗ) з адаптованою програмою, написаною в середовищі TurboDelphi.

Дослідження параметрів функціональних блоків представлено математичними моделями.

Модель динаміки руху КГПА в складі трактора (з колісною формулою 4К2) і посівного агрегата адаптовано до умов криволінійного руху (за аналогією досліджень А. М. Ємельянова), що дає змогу розрахувати напрям сили тяги до основної осі руху β , швидкість V_{ag} його центра мас в координатах x, y [3]:

$$V_{ag} = \sqrt{(x \cdot \cos \beta)'_t^2 + (y \cdot \sin \beta)'_t^2}. \quad (1)$$

Динамічні параметри висівного апарата катушкового типу, які включають кутову швидкість висівної катушки ω_{ri} на кожній i -ій ділянці, характеризуються виразом (2) (за параметрами дослідженими в роботах Л. В. Погорілого, П. В. Сисоліна, Л. В. Аніскевича):

$$\omega_{ri} = H_{3i} / (q_0 \cdot T_i), \quad (2)$$

H_{3i} – поточні витрати посівного матеріалу за визначеною нормою висіву, необхідна для i -ї ділянки, г; q_0 – кількість насіння, яку виштовхує катушка з насінневого бункера за 1 оберт, г/об; T_i – час для технологічної обробки ділянки поля площею ΔS_i , с [4,5].

Розподіл насіння в поперечному перерізі насіннепровода на виході з урахуванням спрощення нелінійних механізмів енергообмінів, які доповнюють повноту інтерпретації фізичного процесу, але не мають істотного впливу на його динаміку описується виразом (3) (за аналогією з дослідженнями Малофєєва В. Ю):

$$f(x, y) = \frac{1}{\pi R^2} \cdot e^{-\frac{3 \cdot x \cdot \tan \varphi}{\alpha \cdot z_0}}, \quad (3)$$

де R – радіус трубки насіннепровода, м; α – коефіцієнт, який враховує втрати енергії під час зіткнень; z_0 – висота падіння насінин на тарілчастий розсіювач з моменту входу в насіннепровод, м; φ – кут нахилу трубки насіннепровода, град [6].

У дослідженні конструкційних параметрів тарілчастого розсіювача прийнято умови: незмінні параметри – діаметр розсіювача (d) та кут установки розсіювача (φ); змінні – швидкість повітрянонасінневої суміші (V_{nn}), кут розкриття розсіювача (β) і висота його установки на агрегаті (H_d) (рис 2).

Ділянка розсіювання під час руху КГПА характеризується відстанню відскоку насіння x_{nad} після падіння на нижню пластину розсіювача (дальністю польоту).

$$x_{nad} = \frac{v_0 \cdot \cos \gamma \cdot \left(v_0 \cdot \sin \gamma + \sqrt{v_0^2 \cdot \sin^2 \gamma + 2 \cdot g \cdot H_d} \right)}{g}, \quad (4)$$

де швидкість насіння, яку воно набуло після удару об нижню пластину розсіювача V_0 , м/с

$$V_0 = \frac{k \cdot V_c \cdot \cos \alpha}{\cos \psi}; \quad (5)$$

- швидкість насіння, яке падає на тарілку з насіннепроводу за умови вільного пересування (нехтуючи тертям насіння об стінки насіннепроводу) V_c , м/с

$$V_c = \sqrt{V_{\text{пн}}^2 \cdot \cos^2 \varphi + 2 \cdot g \cdot H_{\text{вн}}}; \quad (6)$$

- кут γ між вектором початкової швидкості $\bar{V}_0$ і віссю O_x , град

$$\gamma = \pi/2 - (\beta_\theta + \psi); \quad (7)$$

- кут відбиття ψ (між вектором швидкості $\bar{V}_0$ і нормаллю до пластини в точці падіння на неї насіння), град

$$\psi = \arctg\left(\frac{1}{k} \cdot \tg(\beta_\theta + \varphi)\right); \quad (8)$$

- кут падіння α , град

$$\alpha = \beta_\theta + \varphi; \quad (9)$$

- кут виходу насіння із насіннепроводу φ , град,

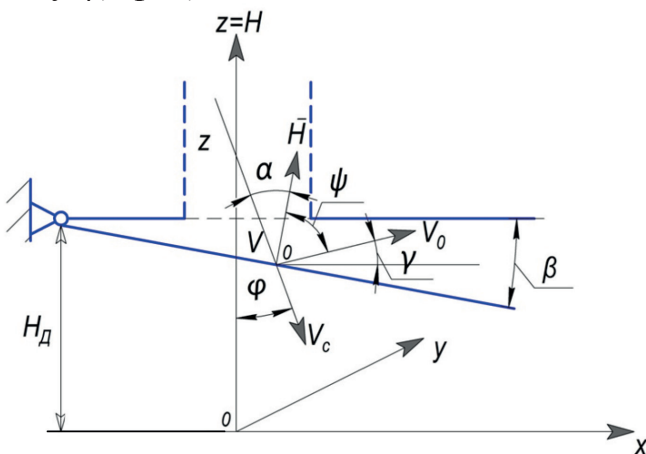


Рисунок 2 - Розрахункова схема зміни руху насіння в тарілчастому

- кут нахилу нижньої пластини розсіювача β_θ відносно горизонтальної площини для цих насінин:

$$\beta_\theta = \arctg(\cos \theta \cdot \tg \beta); \quad (10)$$

- кут відскоку насінин θ в горизонтальній площині xOy відносно напрямку руху МТА, град, коефіцієнт відновлення k

(втрати механічної енергії насіння під час удару), висота установки розсіювача над поверхнею ґрунту $H_{\text{д}}$, м, початкова швидкості повітряна насінневої суміші, задана повітрянагнітачем $V_{\text{пн}}$, м/с, кут нахилу тарілчастої пластини до поверхні землі β ; град, швидкість руху посівного МТА $V_{\text{аз}}$ м/с.

Визначили рух агрегата $V_{\text{аз}}=2,2-3,3$ м/с за нормою висіву $N_3=20-30$ кг/га та обертами котушки $\omega_r = 350$ об/хв. Дальності польоту отримали із врахуванням складових, відповідно до виразів (5-10) та отримали дані: швидкість повітряна насінневої суміші на виході з насіннепроводу за початкової швидкості $V_c=12,4$ м/с; початкової швидкості відбитих від пластини розсіювання насінин $V_0=2,27-3,72$ м/с; висоти установки розсіювача на агрегаті $H_{\text{д}}=0,44-0,64$ м; коефіцієнта відновлення $k=0,17$; кутів відбиття насіння $\psi=22,29^\circ-58,63^\circ$; кутів падіння $\alpha=0,6^\circ-39,4^\circ$; кутів між вектором початкової швидкості $\bar{V}_0$ і віссю Ox , паралельній поверхні ґрунту $\gamma=15,8^\circ-76,4^\circ$; кутів відскоку насіння в боки від нижньої пластини розсіювача $\theta=0^\circ-180^\circ$; кутів нахилу пластини розсіювача відносно горизонтальної площини для цих насінин $\beta_\theta=0,6^\circ-17^\circ$.

Визначення дальності польоту насіння дає можливість визначити зону розсіювання та відповідно площу засіву, на якій далі можна розрахувати щільність розподілу [7].

Щільність розподілу насіння на поверхні ґрунту приймаємо близькою до щільності нормального розподілу за законом Гаусса і для цього дослідження отримали вираз:

$$f_n(x, y) = f_{nx}(x) \cdot f_{ny}(y) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}\right) \cdot \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2}\right) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\left(\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)\right), \quad (11)$$

де m_x , m_y — математичне очікування та σ_x , σ_y — середні квадратичні відхилення нормально розподілених випадкових величин в координатах x , y .

Кількість насіння ($K_{\text{ні}}$), яке потрапило на елементарну ділянку $S_{\text{рі}}$ в координатах x , y за нормального розподілу, визначається:

$$K_{\text{ні}} = K \cdot \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \iint_{S_{\text{рі}}} \exp\left(-\left(\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)\right) dx dy, \quad (12)$$

де K – кількість насіння за встановленою нормою висіву, $\text{шт}/\text{м}^2$.

Взаємодія функціональних блоків технологічності F_1 та якості висіву F_2 досягається реалізацією процедури мінімізації (рис. 3).

Мінімізація блоку технологічності F_1 (V_{az} , N_3) – суми квадратів відхилення реально витраченого посівного матеріалу за час від початку процесу до поточного часу T за всіма $i=1,2,3\dots$ елементарними часовими кроками від необхідних витрат посівного матеріалу ΔH_{3i} , розрахованих виходячи із заданої норми висіву N_3 :

$$F_1 = \sum_i B^2 \cdot V_{az_i}^2 \cdot \Delta T_i^2 \cdot [N_{ri} - N_3]^2 = \sum_i \Delta S_i^2 \cdot [N_{ri} - N_3]^2. \quad (13)$$

де N_r – кількість насіннєвого матеріалу, максимально наближена до заданої норми, $\text{шт}/\text{м}^2$; N_3 – задана норма, $\text{шт}/\text{м}^2$; S_{ri} – площа i -ої ділянки, м^2 .

Мінімізація блоку якості F_2 (V_{nn} , H_d , β) – сума квадратів різниці між кількістю насіння, яке потрапило на ділянки S_{ri} , для нормальної і рівномірної щільності розподілу на всіх M_i ділянках:

$$F_2 = \sum_{i=1}^M [K_{ri} - K_{ni}]^2 = K^2 \cdot \sum_{i=1}^M \iint_{S_{ri}} \left[\frac{1}{S_r} - \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\left(\frac{(x-\bar{m}_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-\bar{m}_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)\right) \right] dx dy. \quad (14)$$

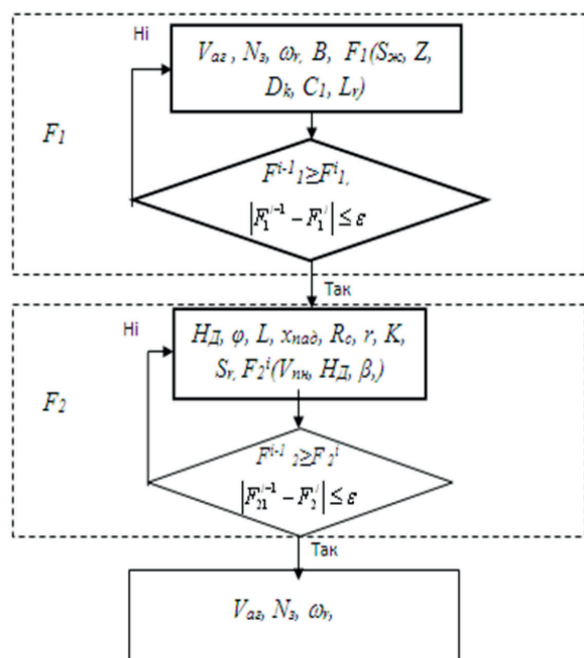


Рисунок 3 – Схема взаємодії функціональних блоків технологічності (F_1) та якості висіву (F_2)

Управління процесами з використанням інформаційно-керівного засобу здійснюється відповідно до схеми (рис. 4) з адаптованою програмою, написаною в середовищі TurboDelphi.



Рисунок 4 – Схема управління технологічними процесами в лабораторних і польових дослідженнях

Базисом для контролю швидкості руху агрегата, норми та якості висіву слугує інформація від GPS, датчиків, встановлених на колесі трактора, у висівному бункері за катушкою та рамі ґрунтообробного знаряддя.

В інформаційно-керівний засіб (ІКЗ) задаються дані швидкості агрегата, норми висіву, ширина агрегата. Під час роботи агрегата із датчика швидкості та GPS поступає сигнал на ІКЗ (дані швидкості агрегата беруться усереднені), із датчика приведення висівного агрегата у робочий стан подається сигнал на ІКЗ, система вмикає процес висіву; датчик потоку насіння передає дані на ІКЗ, кількість насіння, яке вийшло за один оберт катушки. Дані, які надходять на ІКЗ, синхронізуються, обробляються та виводяться на екран. У такий спосіб керують процесом висіву.

Висновки. У статті проаналізовано сучасний стан техніко-технологічних рішень для висіву сидеральних культур та визначено перспективну технологію і доцільність використання комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів.

Визначено концепцію та розроблено системо-аналогову модель КГПА з інформаційною системою, що забезпечують функціонування двох блоків: технологічності (установлена норми висіву зі зміною швидкості агрегата) та якості висіву

(рівномірність висіву визначеними параметрами насіннепровода і тарілчастого розсіювача).

Систематизовано математичні моделі складових компонентів КГПА (миттєвої швидкості машинно-тракторного агрегата V_{ag} в координатах місцезоташування, динамічних параметрів висівного апарата котушкового типу на кожній i -й ділянці та динаміки руху насіння по насіннепроводу).

Одержано аналітичні залежності величини ділянки розсіювання x_{nad} та щільності розподілу насіння по ширині та у напрямку руху агрегата $f(x,y)$ від швидкості повітронасінневої суміші V_{nn} та конструкційних параметрів тарілчастого розсіювача: кутів розкриття нижньої пластини розсіювача β та висоти їх установки H_d на агрегаті.

Представлено принципи синергетичного синтезу показників комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата та складові функціоналів технологічності (F_j) і якості (F_j). Запропонована схема управління технологічними процесами в лабораторних і польових дослідженнях.

Література

1. М. Новохацький. Н. Нілова. П. Погорілий. Сидерати біологічний фактор відтворення родючості ґрунту. Зб. наук. праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2015. С. 382-394.

2. Шустік Л., Гайдай Т. Пошук альтернативних енергоощадних технологій і дослідження для посіву дрібнонасіньових культур. Зб. наук. праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2012. Вип. 16(30). Книга 2. С. 116-119.

3. Емельянов А. М., Щитов С. В., Фролова Г. Н. Математическое моделиро-

вание исследования криволинейного движения трактора МТЗ-82 со сдвоенными колесами. Благовещенск. Дальневосточный аграрный вестник. Вып. №1/2007. С. 101-109.

4. Аніскевич Л. В. Модель функціонування машини в системі точного землеробства. Сб. научн. труд. Керченского морского техн. института «Механизация производственных процессов рыбного хозяйства. промышленных и аграрных предприятий». Вып. 1. Керчь. 2001. С. 112-118.

5. Погорелый Л. В., Сысолин П. В. Почвообрабатывающие и посевные машины. история. машиностроение. конструирование. Київ. Феникс. 2005. 264 с.

6. Молофеев В. Ю. Математическая модель движения семян по семяпроводу. Москва. Достижения науки и техники АПК. №4. 2007. С. 3-6.

7. Бузенков Г. М., Ма С. А. Машины для посева сельскохозяйственных культур. Москва. Машиностроение. 1976. 279 с.

Literatura

1. M. Novokhatskyi. N. Nilova. P. Pohoriliy. Syderaty biolohichniy faktor vidtvorennia rodiuchosti hruntu. Zb. nauk. prats UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho. Tekhniko-tekh-nolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvann-ya novoyi tekhniki i tekhnolohiy dlya silskoho hospodarstva Ukrainy. Doslidnytske. 2015. S. 382-394.

2. Shustik L., Haidai T. Poshuk alternatyvnykh enerhooshchadnykh tekhnolohii i doslidzhennia dlia posivu dribnonasinnievkykh kultur. Zb. nauk. prats UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho. Tekhniko-tekh-nolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannya novoyi tekhniki i tekhnolohiy dlya silskoho hospodarstva Ukrainy. Doslidnytske. 2012. Vyp. 16 (30). Knyha 2. S. 116-119.

3. Emelianov A. M., Shchytov S. V., Frolova H. N. Matematycheskoe modelyrovanye yssledovaniya kryvolyneinoho dvyzheniya traktora MTZ-82 so sdvoennymy kolesamy. Blahoveshchensk. Dalnevostochnyi

ahraryi vestnyk. Vyp. №1/2007. S. 101-109.

4. Aniskevych L. V. Model funktsionuvannia mashyny v systemi tochnoho zemlerobstva. Sb. nauchn. trud. Kerchenskoho morskoho tekhn. ynstytuta «Mekhanyzatsiya proyzvodstvennykh protsessov rybnoho khoziaistva. promyshlennykh y ahrarykh predpriaty». Vyp. 1. Kerch. 2001. S. 112-118.

5. Pohorelyi L. V., Sysolyn P. V. Pochvoobrabatyvaiushchye y posevnye mashyny. ystoryia. mashynostroenye. konstruyrovanye. Kyiv. Fenyks. 2005. 264 s.

6. Molofeev V. Yu. Matematycheskaia model dvyzheniya semian po semiaprovodu. Moskva. Dostyazheniya nauky y tekhniky APK. №4. 2007. S. 3-6.

7. Buzenkov H. M., Ma S. A. Mashyny dlia poseva selskokhoziaistvennykh kultur. Moskva. Mashynostroenye. 1976. 279 s.

Literature

1. M. Novokhatskiy. N. Nilova. P. Pogorely. Siderata is a biological factor in soil fertility reproduction. Coll. Sciences. to UkrNIPIPT them. L. Pogorely. Technical and technological aspects of development and testing of new machinery and technologies for Ukrainian agriculture. Research. 2015. Pp. 382-394.

2. Shustik L., Gaidai T. Search for alternative energy-saving technologies and research for sowing of small-seed crops. Coll. Sciences. to UkrNIPIPT them. L. Pogorely. Technical and technological aspects of development and testing of new machinery and technologies for Ukrainian agriculture. Research. 2012. Vip. 16 (30). Book 2. P. 116-119.

3. Emelianov AM, Shchitov SV, Frolova GN Mathematical modeling of the study of curvilinear motion of a MTZ-82 tractor with twin wheels. Blagoveshchensk. Far Eastern Agricultural Gazette. Issue №1 / 2007. Pp. 101-109.

4. Aniskevich LV Model of machine functioning in the system of precision agriculture. Sat. scientific labor. Kerch marine techn. Institute of Mechanization of Fisheries Production Processes. industrial and agricultural enterprises. Issue 1. Kerch. 2001. P. 112-118.

5. Pogorelyy LV, Sysolin PV Soil cultivating and sowing machines. history. mechanical engineering. designing. Kiev. Phoenix. 2005. 264 p.

6. V. Mofofeev, Mathematical Model of Seed Movement in the Pipeline. Moscow. APC science and technology achievements. №4. 2007. P. 3-6.

7. GM Buzenkov, MA SA Machines for sowing crops. Moscow. Mechanical Engineering. 1976. 279 p.

UDC 631.11

STUDY OF FUNCTIONING OF COMBINED TILL-PLANT OUTFIT FOR SOWING CULTURAL CULTURES

Gaidai T.,

e-mail: tanusha-h@ukr.net,

<https://orcid.org/0000-0001-9141-4820>

DNU «L. Pogorilyy UkrNDIPVT»

Summary

The purpose. The article presents a system-analog model of functioning of technological process of combined till-plant outfit (CTPO), which is represented by mathematical models.

Research Methods. theoretical studies were performed using the provisions, laws, and methods of classical mechanics, mathematics, and statistics.

Results. The article proposes promising technology for sowing of green manure crops and the expediency of using CTPO.

For modeling of CTPO we have proposed the concept and system-analog model of technological process functioning as two functional blocks: block of processability (seeding rates with change of speed of the unit are established) and block of quality of seeding (uniformity of seeding with defined parameters of seed line and plate diffuser).

The study of the parameters of the functional blocks is represented by mathematical models of the CTPO (instantaneous speed of the machine-tractor unit V_{ag} in the coordinates of the location, the dynamic parameters of the seeding apparatus of the coil type at each i -th plot and the dynamics of the movement of seeds on the seed line)

On the basis of analytical calculations, the size of the scattering area x_p , the density of seed distribution along the width and direction of movement of the unit $f(x, y)$ were determined depending on the velocity of the air-seed mixture V_n and the design parameters of the plate diffuser: the opening angles of the lower plate of the diffuser β and the height H_D of its plate.

The parameters are agreed upon as a diagram of the interaction between the functional blocks of adaptability and quality of seeding. The principles of synergetic synthesis of the indicators of CTPO and components of functionalities of manufacturability (F_1) and quality (F_2) are presented. The scheme of control of technological processes in laboratory and field research is offered.

Conclusions. On the basis of researches the base for modeling and designing of combined CTPO of small-seeded green manure crops is offered.

Keywords: system-analog model, combined till-plant outfit, plate spreader, dispersion uniformity, control of seeding process, green manure crops.

УДК 631.11

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕ-ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПОСЕВА СИДЕРАЛЬНЫХ КУЛЬТУР

Гайдай Т.,
e-mail: tanusha-h@ukr.net,
<https://orcid.org/0000-0001-9141-4820>
ГНУ «УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого»

Аннотация

Цель. В статье приведена система-аналоговая модель функционирования технологического процесса комбинированного почвообрабатывающего-посевного агрегата, которая представлена математическими моделями.

Методы исследований. Теоретические исследования выполнены с использованием положений, законов и методов классической механики, математики и статистики.

Результаты. В статье предложен перспективную технологию для посева сидеральных культур и целесообразность использования комбинированных почвообрабатывающих-посевных агрегатов (КГПА).

Для моделирования КГПА нами предложена концепция и система-аналоговая модель функционирования технологического процесса как две функциональные блоки: блок технологичности (установ-

ленная нормы высева с изменением скорости агрегата) и блок качества высева (равномерность высева определенными параметрами семяпроводов и тарельчатого рассеивателя).

Исследование параметров функциональных блоков представлены математическими моделями КГПА (мгновенной скорости машинно-тракторного агрегата $V_{\text{аг}}$ в координатах месторасположение, динамических параметров высевающего аппарата катушечного типа на каждой i -й области и динамики движения семян по семяпроводам).

На основе аналитических расчетов определена величина участка рассеивания хпад, плотности распределения семян по ширине и направлению движения агрегата $f(x, y)$ в зависимости от скорости повитронасинневои смеси $V_{\text{пн}}$ и конструктивных параметров тарельчатого рассеивателя: углов раскрытия нижней пластины рассеивателя β и высоты его установки H_d на агрегате.

Параметры согласованы между собой как схема взаимодействия функциональных блоков технологичности и качества высева. Представлены принципы синергетического синтеза показателей комбинированного почвообрабатывающего-посевого агрегата и составляющие функционалов технологичности (F_1) и качества (F_2). Предложенная схема управления технологическими процессами в лабораторных и полевых исследованиях.

Выводы. На основе исследований предложено базу для моделирования и проектирования комбинированных почвообрабатывающих-посевных агрегатов мелкосемянных сидеральных культур. В статье приведена системо-аналоговая модель функционирования технологического процесса комбинированного почвообрабатывающе-посевого агрегата, которая представлена математическими моделями.

Ключевые слова: системо-аналоговая модель, комбинированный почвообрабатывающе-посевной агрегат, тарельчатый рассеиватель, равномерность рассеивания, управление процессом высева.