

РУТКЕВИЧ ВОЛОДИМИР

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6366-7772>e-mail: v_rut@ukr.net

ОСТАПЕНКО ВАЛЕРІЙ

Вінницький національний аграрний університет

e-mail: Ostapenko@ukr.net

КАЖУРО МАКСИМ

Вінницький національний аграрний університет

e-mail: maksakzhuro@gmail.com

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОБОТИ ДОЗУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОСІВНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ

Розглядається питання підвищення ефективності та екологічності використання мінеральних гранульованих добрив у системі точного землеробства. Зазначено необхідність розробки та впровадження у виробництво високоточних автоматизованих інформаційних технологій, що базуються на використанні високопродуктивних засобів механізації на основі GPS навігації.

Вказано необхідність використання диференційованого внесення гранульованого мінерального добрива та машин, що забезпечують якісне виконання даного технологічного процесу із врахуванням неоднорідності вмісту поживних елементів у ґрунті на певній ділянці поля. Виявлено причини, що призводять до невідповідності внесення на конкретну елементарну ділянку поля, дози мінеральних добрив, яка зазначена в електронній карті задач: запізнювання спрацьовування дозуючого робочого органу, розбіжність місць установлення приймача сигналів глобальної системи позиціонування і дозуючого робочого органу, а також тривалість транспортування гранул мінеральних добрив від дозуючого пристрою до сошника.

Для оцінки впливу величини запізнювання спрацьовування дозуючого робочого органу на якість диференційованого внесення мінеральних добрив і формулювання вимог до системи дозування і режимів виконання технологічного процесу розроблено алгоритм розрахунку величини запізнення переходу з однієї дози на іншу.

Зазначено, що впровадження інноваційних агротехнологій потребує значних капіталовкладень у придбання нових засобів механізації, автоматизації та цифровізації технологічних процесів, що, у свою чергу, вимагає виконання наукових досліджень, спрямованих на обґрунтування ефективності таких інноваційно-інвестиційних проектів, оцінки окупності та ризикованості інвестицій у їх реалізацію.

Ключові слова: точне землеробство, добриво, диференційоване внесення добрив, система позиціонування, геоінформаційні системи, висівна система, карта задач, посівний комплекс, розкидач, продуктивність, екологічність.

RUTKEVYCH VOLODYMYR, OSTAPENKO VALERIY, KAJURO MAXIM

Vinnytsia National Agrarian University

THEORETICAL STUDY OF THE WORKING CONDITIONS OF THE DOSING WORKING BODIES OF THE SOWING COMPLEX FOR DIFFERENTIATED APPLICATION OF FERTILIZERS

The question of increasing the efficiency and environmental friendliness of the use of mineral granular fertilizers in the system of precision agriculture is considered. The need to develop and introduce into production high-precision automated information technologies based on the use of high-performance means of mechanization based on GPS navigation is indicated.

The necessity of using differential application of granular mineral fertilizer and machines that ensure high-quality performance of this technological process, taking into account the heterogeneity of the content of nutrients in the soil in a certain area of the field, is indicated. The reasons that lead to the inconsistency of applying the dose to a specific elementary section of the mineral fertilizer dose field indicated in the electronic task map were identified: the delay in the activation of the dosing working body, the discrepancy between the installation locations of the signal receiver of the global positioning system and the dosing working body, as well as the duration of the transportation of mineral fertilizer granules from the dosing device to the coulter.

In order to assess the impact of the amount of delay in the activation of the dosing working body on the quality of differentiated application of mineral fertilizers and the formulation of requirements for the dosing system and modes of execution of the technological process, an algorithm for calculating the amount of delay in the transition from one dose to another has been developed.

It is noted that the implementation of innovative agricultural technologies requires significant capital investments in the acquisition of new means of mechanization, automation and digitization of technological processes, which, in turn, requires the implementation of scientific research aimed at substantiating the effectiveness of such innovative investment projects, assessing the return and riskiness of investments in their implementation.

Key words: precision farming, fertilizer, differentiated fertilizer application, positioning system, geo-information systems, sowing system, task map, sowing complex, spreader, productivity, environmental friendliness.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Швидке вирішення задач забезпечення продуктової безпеки країни, формування та нарощування її експортного потенціалу для виходу на світові ринки сільськогосподарської сировини і продуктів її переробки вимагає збільшення в короткі терміни об'єму виробництва сільськогосподарської продукції,

підвищення її якості, зниження виробничих витрат, що визначають собівартість і конкурентоспроможність продукції на внутрішньому та зовнішніх ринках. Реалізація цих цільових програм відбувається в умовах війни, що обмежує доступ вітчизняних виробників до новітніх досягнень аграрної науки, що включають інновації в галузі селекції, насінництва, техніки та технологій тощо.

Рослинництво є базовою галуззю сільського господарства, стійкість його функціонування та розвиток вирішальною мірою впливає на ефективність всього сільськогосподарського виробництва. У свою чергу ефективність виробництва продукції рослинництва багато в чому визначається станом його матеріально-технічної бази, основу якої становить машинно-тракторний парк сільськогосподарських організацій та реалізовані з його допомогою агротехнології вирощування сільськогосподарських культур [1, 2]. Але стан матеріально-технічної бази більшості сільськогосподарських підприємств України на сьогоднішній день цілком обґрунтовано можна схарактеризувати як незадовільний і в кількісному, і в якісному плані, оскільки техніка фізично й морально застаріла, до того ж уже на час свого створення вона поступалася за класом, якістю та ефективністю роботи кращим зарубіжним зразкам.

Найшвидше відновлення матеріально-технічної бази основної галузі сільського господарства України – рослинництва, та її ефективний інноваційний розвиток, вимагають значних капіталовкладень. Тому дослідження, спрямовані на обґрунтування пріоритетних напрямів інноваційного розвитку техніко-технологічної бази рослинництва є наразі своєчасними та актуальними.

Аналіз досліджень та публікацій

В умовах високого морального та фізичного зносу матеріально-технічної бази вітчизняного рослинництва найважливішим напрямом його прискореного відновлення та розвитку є освоєння у виробництві інноваційних агротехнологій, адаптованих до ґрунтових та природно-кліматичних умов зони розміщення, що забезпечують енерго- та ресурсозбереження, відновлення родючості ґрунтів та підвищення якості продукції галузі [3]. Перехід на такі технології потребує інноваційного оновлення машинно-тракторного парку сільськогосподарських підприємств з урахуванням переходу на технологію точного землеробства, яка вже почала знаходити своє застосування в передових вітчизняних сільськогосподарських підприємствах. Впровадження таких агротехнологій під час виробництва продукції рослинництва передбачає оснащення машинно-тракторних агрегатів засобами обчислення та робототехніки, що дозволяють реалізовувати можливості геоінформаційного позиціонування, картування полів, адресного та нормованого внесення у ґрунт добрив та хімічних засобів для захисту рослин [4–7].

Більш повна структура технології точного землеробства представлена рис. 1.

Використання таких інноваційних технологій при виробництві рослинницької продукції дозволяє підвищити якість виконання польових механізованих операцій, включаючи обробіток ґрунту, посів та догляд за посівами сільськогосподарських культур, збирання врожаю. Це, у свою чергу, забезпечує збільшення об'ємів виробництва продукції за рахунок зростання середньої врожайності культури, зниження її собівартості за рахунок економії добрив та засобів захисту рослин.

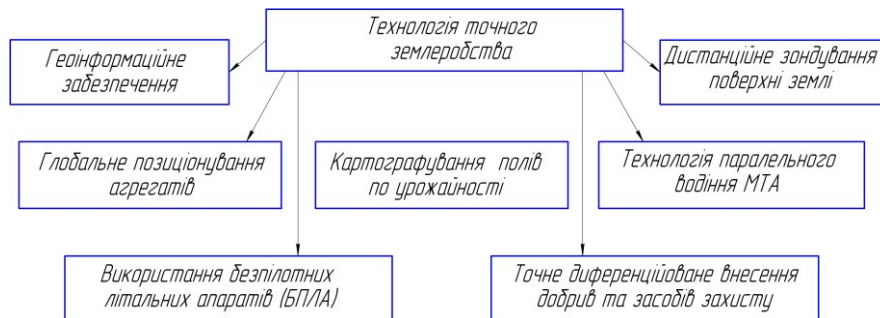


Рис. 1. Елементи технології точного землеробства

Питаннями внесення добрив та взаємодії робочих органів займалися такі вчені, як: Марченко Н.М., Кормановський Л.П., Нефедов Б.А., Лічман Г.І., Макаров В.А., Горячкін В.П., Афанасьєв Р.А., Петрушин А.Ю., Рibaков В.М., Салинський В.Ф., Черевиков В.Д., Шафран С.А., Карстен Й., Райхард М., Karwowski T., Franen D.W., Sawyer J.T., Wollenhaupt N.C. та інші [3, 6, 8, 9].

На рис. 2 представлено розкидач мінеральних добрив компанії AMAZONE, який обладнано гідравлічним приводом розкидних дисків моделі ZA-M Hydro. Даний агрегат працює за технологією точного землеробства [10]. Різне програмне забезпечення (GPS-Switch, Software) даного агрегату забезпечує його високоєфективне, ресурсощадне використання, а також дозволяє знизити екологічне навантаження на агроєкосистему сільськогосподарського підприємства в цілому. Серед переваг даного програмного забезпечення слід виділити автоматизоване та точне керування, що здійснюється за рахунок точного визначення місця розташування через супутникову навігаційну систему (DGPS), автоматизоване вмикання і вимикання розподільника добрив з точним позиціонуванням, точне налаштування ширини захвату, вимикання приводу та розкидних дисків на поворотній смузі і краях поля. З даних функцій розкидача мінеральних добрив можна сказати про перспективність впровадження інноваційних агротехнологій у сільськогосподарські процеси.

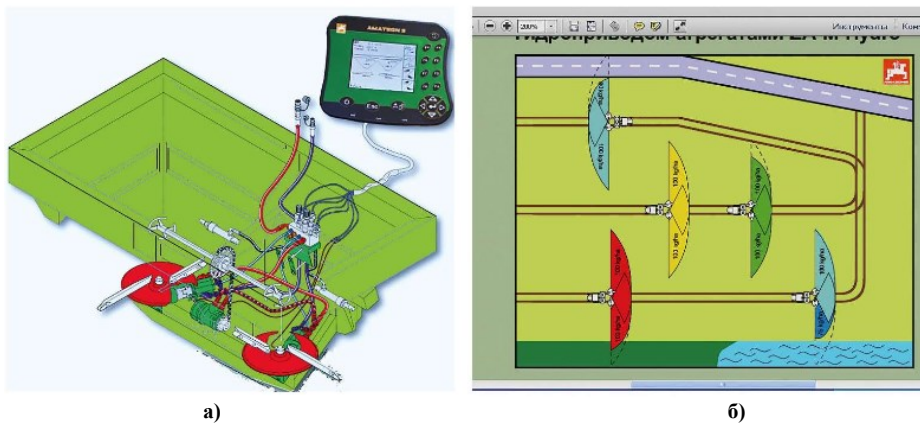


Рис. 2. Розкидач мінеральних добрив з гідравлічним приводом розкидних дисків моделі ZA-M Hydro (а) та схема внесення добрив на різних ділянках поля (б)

Незважаючи на те, що відцентрові розкидачі мінеральних добрив характеризуються високою продуктивністю, простотою конструкції і надійністю, їм властивий суттєвий недолік, а саме нерівномірність розподілу мінеральних добрив по ширині захвату машини.

Внесення добрив на сільськогосподарські поля сучасними методами може мати багато переваг, таких як покращення характеристик ґрунту і врахування росту рослин, зниження виробничих витрат та підвищення продуктивності. При внесенні добрив рівномірно, деякі ділянки поля можуть бути не удобрені тоді як інші частини можуть бути надмірно удобрені. Загалом недостатнє внесення добрив може призвести до зниження врожаю та зниження якості; тоді як надмірне удобрення може становити небезпеку для навколишнього середовища, тобто погіршують якість води, сприяють зростанню та розвитку бур'янів, може призвести до збільшення витрат і зниження прибутку. З розвитком технології змінної норми внесення добрив можна використовувати спеціальні методи внесення добрив для керування змінами на сільськогосподарських полях [9].

Одним із таких методів є режим off-line (точного землеробства), що передбачає попередню підготовку на стаціонарному комп'ютері картки-завдання, в якій містяться просторово прив'язані за допомогою GPS дози агрохімікатів для кожної елементарної ділянки поля (рис. 3).

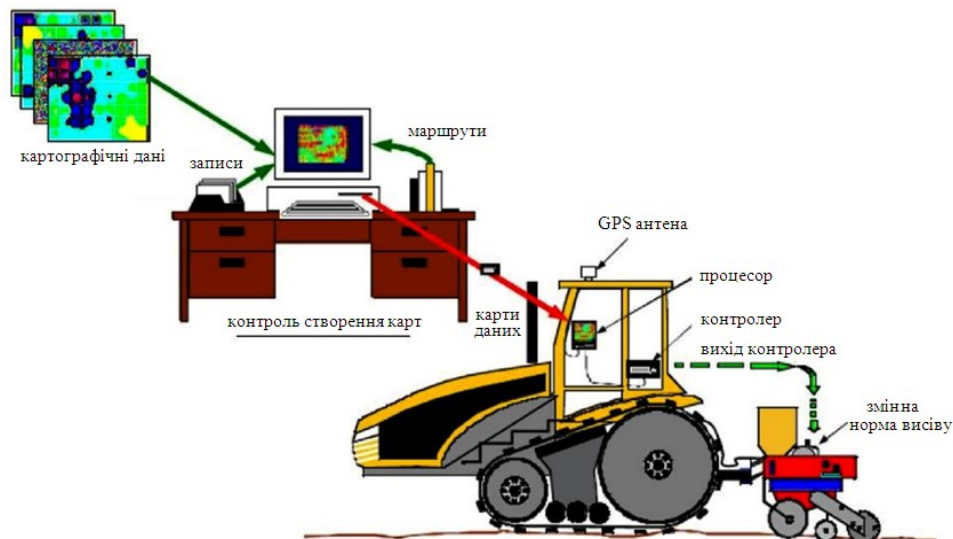


Рис. 3. Система точного землеробства на основі карт завдань

Дослідження показали, що найбільш ефективним способом є локальне внутрішньо-ґрунтове внесення твердих мінеральних добрив, яке дозволяє розташовувати добрива в зоні живлення кореневої системи рослин. Дослідженнями встановлено, що існуючі конструкції машин та робочих органів не дозволяють якісно вносити одночасно стартову та основну дозу добрив відповідно до агротехнічних вимог для певних ділянок поля.

Мета дослідження – підвищення ефективності внесення твердих мінеральних добрив при вирощуванні зернових культур шляхом розробки посівного комплексу, що забезпечує енерго-ресурсозберігаючу та екологічно безпечну технологію диференційованого внесення основної та стартової дози твердих мінеральних добрив з розробкою висівної системи.

Виклад основного матеріалу

Однією з умов забезпечення високої ефективності диференційованого внесення добрив при роботі посівного комплексу є внесення їх точно, відповідно до електронної карти-завдання при роботі даного агрегату в режимі (offline) [11]. Однією з причин, яка призводить до невідповідності внесення дози на конкретну елементарну ділянку поля, зазначеної на електронній карті, є запізнювання спрацьовування дозуючого робочого органу, розбіжність місць установками приймача сигналів глобальної системи позиціонування та дозуючого робочого органу, а також тривалість транспортування гранул мінеральних добрив від дозуючого пристрою до сошника [6, 8, 11, 12].

Для оцінки впливу величини запізнювання спрацьовування дозуючого робочого органу на якість диференційованого внесення мінеральних добрив і формулювання вимог до системи дозування та режимів виконання технологічного процесу необхідно мати математичну модель технологічного процесу [8, 9].

Розглянемо елементарну ділянку поля, на якій диференційовано вносять мінеральні добрива (рис. 4).

При підході до границі ділянки за допомогою приймача сигналів глобальної системи позиціонування GPS визначається координата по електронній карті задач, що знаходиться в бортовому комп'ютері, визначається доза внесення, в нашому випадку $D_{0.в.і}$, і подається команда на виконавчий механізм дозатора, який в даний момент налаштований на внесення добрив з дозою $D_{0.в.і}$. Після цього починається перебудова роботи дозатора з дози $D_{0.в.і}$ на дозу $D_{0.в.і}$. В цей час агрегат продовжує рухатися по полю зі швидкістю v_a . Залежно від довжини агрегату, розміщення приймача сигналів, швидкості руху агрегату внесення добрив з дозою $D_{0.в.і}$ може початися на i -й ділянці, відразу на границі ділянок або на деякій відстані від границі. Незалежно від досконалості дозуючої системи, системи контролю і керування технологічним процесом запізнювання завжди існує. Завдання полягає в тому, щоб враховуючи цей фактор знайти параметри технологічного процесу, при якому часове або дистанційне запізнювання було б мінімальним.

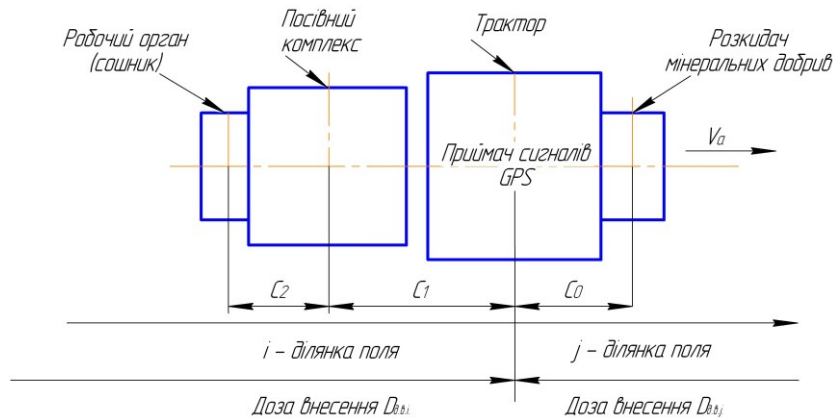


Рис. 4. Схема розрахунку величини запізнення

Нехай є дві суміжні ділянки i та j , на які у відповідності з електронною картою-завдання необхідно внести добрива з дозою $D_{0.в.і}$ та $D_{0.в.і}$.

Розглянемо, який час буде потрібно посівному комплексу для того, щоб гранульовані мінеральні добрива з дозою $D_{0.в.і}$ почали вноситися на j -у ділянку:

$$t_{зан.опер.} = (c_1 + c_2) / v_a - t_{заніз.} \tag{1}$$

де $t_{заніз.}$ – час запізнення, с; c_1 – відстань від місця розміщення приймача сигналів глобальної системи позиціонування до дозуючого робочого органу м; c_2 – відстань від дозуючого робочого органу до центру групи сошників, м.

Час виконання технологічного процесу диференційованого внесення гранульованих мінеральних добрив t_{np} можна представити у вигляді суми:

$$t_{з.м.н} = t_0 + t_1 + t_2 \tag{2}$$

де t_0 – час реакцій контролера на вхідний сигнал про зміну координати, с;
 t_1 – час переходу з однієї дози на іншу, с;
 t_2 – час руху частинок добрив від дозуючого органу до органу внесення в ґрунт, с.
 Дистанційне запізнення рівне:

$$v_a \cdot t_{зан.опер.} = (c_1 + c_2) - v_a \cdot t_{np} \tag{3}$$

Замінивши $v_a \cdot t_{зан.опер.}$ на $c_{зан.}$, (c_1+c_2) на c_{12} , а $v_a \cdot t_{np}$ на c_{np} , отримаємо:

$$c_{зан.опер.} = c_{12} - c_{np} \tag{4}$$

Місце розташування приймача сигналів GPS:

$$l_{прійм} = l_a - t_{з.м.н} \cdot v_a \tag{5}$$

де $l_{прійм}$ – відстань зміщення приймача сигналів відносно початку трактора, м;

l_a – загальна довжина трактора і посівного комплексу [11], м.

Час реакції контролера на вхідний сигнал про зміну координати t_0 можна вважати 1с [9].

Час переходу з однієї дози на другу t_1 і характер зміни дози залежать від типу дозуючого робочого органу, виду добрив і їх фізико-механічних властивостей, а також від початкових та кінцевих доз.

Час руху частинки добрива від дозуючого пристрою до сошника t_2 визначається в кожному конкретному випадку. Розрахунок проводиться за формулою:

$$t_2 = (l_{\text{тук}}/v_{\text{тр}}) \quad (6)$$

де $l_{\text{тук}}$ – довжина тукопроводу від дозуючого пристрою до сошника, м;

$v_{\text{тр}}$ – швидкість руху гранул добрив, м/с.

$$l_{\text{тук}} = l_{\text{в,уч}} + l_{\text{накл,уч}} \quad (7)$$

де $l_{\text{в,уч}}$ – довжина вертикального повітряного проводу, м;

$l_{\text{накл,уч}}$ – довжина похилого тукопроводу м.

Графіки залежності часу запізнення $t_{\text{зан,опер}}$ від довжини виконання технологічного процесу $t_{\text{в,п}}$ і швидкості руху агрегату v_a при заданій відстані між місцем розташування приймача сигналу і центром мас падіння добрива c_{12} (рис. 5).

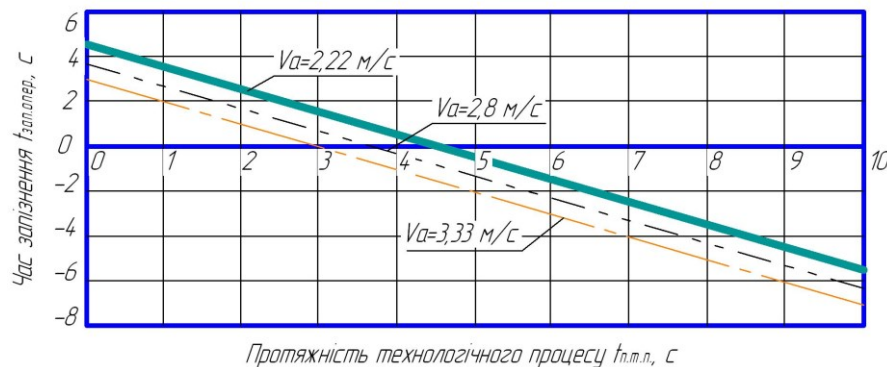


Рис. 5. Залежність часу запізнення $t_{\text{зан}}$ від протяжності виконання технологічного процесу $t_{\text{в,п}}$ і швидкості агрегату при заданій відстані між місцем розміщення приймача і центром мас добрив c_{12}

Із графіків представлених на рис. 5 слідує, що для даного посівного комплексу (при заданих розмірах агрегату c_1, c_2) час запізнення залежить як від протяжності виконання технологічного процесу, так і від швидкості руху агрегату [11]. Від'ємні значення часу запізнення означають, що добрива на ділянці j вносяться із запізненням, додаткові значення означають, що із випередженням.

Із графіків представлених на рис. 4 слідує, що практично у всіх випадках добрива вносяться занадто пізно, від'ємні значення позиційного запізнення. Також слідує, що чим більша швидкість, тим пізніше добрива з дозою $D_{\text{ф,м,}j}$ вносяться на ділянку j , тобто перехід з фази $D_{\text{ф,м,}i}$ на $D_{\text{ф,м,}j}$ продовжує виконуватись на ділянці j .

Розроблений алгоритм розрахунку величини запізнення переходу з однієї дози на іншу може бути доданий в програмне забезпечення контролю і керування роботою посівним комплексом дозатора для диференційованого внесення мінеральних добрив та інших засобів хімізації в системі (offline).

Після деяких доопрацювань даний алгоритм може бути використаний і при внесенні добрив в системі (online).

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Підвищення ефективності виробництва продукції рослинництва в Україні можливе за рахунок широкого впровадження елементів технології точного землеробства, що дозволяє підвищувати врожайність оброблюваних культур за рахунок диференційованого внесення добрив на різних ділянках поля, а також суттєво з економити засоби захисту рослин за рахунок їх адресного внесення, знизити прямі експлуатаційні витрати на виконання польових механізованих робіт за рахунок застосування системи паралельного водіння машинно-тракторних агрегатів.

Виявлені причини, що призводять до невідповідності внесення дози на конкретну елементарну ділянку поля, зазначеної на електронній карті: запізнення спрацьовування дозуючого робочого органу, розбіжність місць між установками приймача сигналів глобальної системи позиціонування і дозуючого робочого органу, а також тривалість транспортування гранул мінеральних добрив від дозуючого пристрою до сошника.

Для оцінки впливу величини запізнення на якість диференційованого внесення мінеральних добрив і формулювання вимог до системи дозування і режимів виконання технологічного процесу, розроблено алгоритм розрахунку величини запізнення переходу з однієї дози на іншу.

Впровадження інноваційних агротехнологій потребує значних капіталовкладень у придбання нових засобів механізації, автоматизації та цифровізації технологічних процесів. Це, у свою чергу, вимагає здійснення наукових досліджень, спрямованих на обґрунтування ефективності таких інноваційно-інвестиційних проєктів, оцінки окупності та ризикованості інвестицій у їх реалізацію.

Література

1. Кравчук В. Інтегрована система керування землеробства – необхідний засіб новітніх технологій. / В. Кравчук, С. Любченко, В. Войновський // Техніка і технології АПК. – 2010. – № 7(10). С. 14–16.
2. Кравчук В. Прогноз розвитку технологій виробництва продукції рослинництва з використанням інформаційно-керуючих засобів / В. Кравчук, С. Любченко // Техніка і технології АПК. – 2010. – № 4(7). С. 4–5.
3. Система точного землеробства / Л.В. Аніскевич, Д.Г. Войтюк, Ф.М. Захарін, С.О. Пономаренко. – К. : НУБіП України, 2018. – 566 с.
4. Холодюк О. Сучасні рішення та напрямки розвитку основних елементів Системи точного землеробства / О. Холодюк, В. Диня, О. Бонякевич, Д. Мовчан // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. – 2024. – № 1 (330). С. 330–338.
5. Концепція розвитку точного землеробства в Україні. Національний науковий центр "Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського". Колектив авторів. Харків : Видав. Міськдрук, 2010. 36 с.
6. Думич В. Пристрої для диференційного внесення мінеральних добрив / В. Думич, Р. Лейко, В. Лев // Агробізнес Сьогодні. – 2017. – № 7. – С. 96–100.
7. Холодюк О.В. Глобальні навігаційні супутникові системи та їх роль у технологіях точного землеробства / О.В. Холодюк // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2020. – № 2 (109). С. 71–87.
8. Lysenko V., Bolbot I., Romasevych Y., Loveykin V., Voytiuk V. Algorithms of Robotic Electrotechnical Complex Control in Agricultural Production. In Control Systems: Theory and Applications. River Publishers: Gistrup, Denmark, 2018. 323 p.
9. Ahmad. L., Mahdi S.S. Variable rate technology and variable rate application. Springer, In Satellite Farming. 2018. pp. 67–80.
10. Пристрої для диференційного внесення мінеральних добрив: <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1290-prystroi-dlia-dyferentsiinoho-vnesennia-mineralnykh-dobryv.html> (дата звернення: 1.05. 2024).
11. Руткевич В.С. Розроблення висівної системи посівного комплексу для внутрішньо-ґрунтового диференційованого мінерального удобрення з одночасною сівбою зернових культур / В. Руткевич, В. Остапенко // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. – 2024. – № 1 (330). – С. 264–270.
12. Руткевич В.С. Визначення діапазону регулювання швидкості робочих органів механізму для відокремлення стеблових кормів шляхом математичного моделювання / В.С. Руткевич, С.А. Шаргородський, В.П. Кушнір, О.О. Остапчук // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2022. – № 2(117). – С. 135–145.

References

1. Kravchuk V. Intehrovana systema kerovanooho zemlerobstva – neobkhidnyi zasib novitnikh tekhnolohii. / V. Kravchuk, S. Liubchenko, V. Voinovskyi // Tekhnika i tekhnolohii APK. – 2010. – № 7(10). S. 14–16.
2. Kravchuk V. Prohnoz rozvytku tekhnolohii vyrobnytstva produktsii roslynnytstva z vykorystanniam informatsiino-keruiuchykh zasobiv / V. Kravchuk, S. Liubchenko // Tekhnika i tekhnolohii APK. – 2010. – № 4(7). S. 4–5.
3. Systema tochnoho zemlerobstva / L.V. Aniskevych, D.H. Voitiuk, F.M. Zakharin, S.O. Ponomarenko. – K. : NUBiP Ukrainy, 2018. – 566 s.
4. Kholodiuk O. Suchasni rishennia ta napriamky rozvytku osnovnykh elementiv Systemy tochnoho zemlerobstva / O. Kholodiuk, V. Dynia, O. Boniakovych, D. Movchan // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: tekhnichni nauky. – 2024. – № 1 (330). С. 330–338.
5. Kontseptsii rozvytku tochnoho zemlerobstva v Ukraini. Natsionalnyi naukovyi tsentr "Instytut hruntoznavstva ta ahrokhimii im. O.N. Sokolovskoho". Kolektiv avtoriv. Kharkiv : Vydav. Miskdruk, 2010. 36 s.
6. Dumych V. Prystroi dlia dyferentsiinoho vnesennia mineralnykh dobrov / V. Dumych, R. Leiko, V. Lev // Ahrobiznes Sohodni. – 2017. – № 7. – S. 96–100.
7. Kholodiuk O.V. Hlobalni navihatsiini suputnykovi systemy ta yikh rol u tekhnolohiiakh tochnoho zemlerobstva / O.V. Kholodiuk // Tekhnika, enerhetyka, transport APK. – 2020. – № 2 (109). S. 71–87.
8. Lysenko V., Bolbot I., Romasevych Y., Loveykin V., Voytiuk V. Algorithms of Robotic Electrotechnical Complex Control in Agricultural Production. In Control Systems: Theory and Applications. River Publishers: Gistrup, Denmark, 2018. 323 p.
9. Ahmad. L., Mahdi S.S. Variable rate technology and variable rate application. Springer, In Satellite Farming. 2018. pp. 67–80.
10. Prystroi dlia dyferentsiinoho vnesennia mineralnykh dobrov: <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1290-prystroi-dlia-dyferentsiinoho-vnesennia-mineralnykh-dobryv.html> (data zvernennia: 1.05. 2024).
11. Rutkevych V.S. Rozroblennia vysivnoi systemy posivnoho kompleksu dlia vnutrishno-gruntovoho dyferentsiiovanoho mineralnoho udobrennia z odnochasnoiu sivboiu zernovykh kultur / V. Rutkevych, V. Ostapenko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: tekhnichni nauky. – 2024. – № 1 (330). – С. 264–270.
12. Rutkevych V.S. Vyznachennia diapazonu rehuliuвання shvydkosti robochykh orhaniv mekhanizmu dlia vidokremлення steblovykh kormiv shliakhom matematychnoho modeliuвання / V.S. Rutkevych, S.A. Sharhorodskiyi, V.P. Kushnir, O.O. Ostapchuk // Tekhnika, enerhetyka, transport APK. – 2022. – № 2(117). – С. 135–145.