**Холодюк О.В.**

к.т.н., доцент

Мовчан Д.А.

аспірант

**Вінницький національний
аграрний університет****Kholodyuk O.**Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor**Movchan D.**

postgraduate

**Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 631.816.1:631.3****DOI: 10.37128/2306-8744-2025-3-10****ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ
ШЛЯХОМ ПОШАРОВОГО
ДОЗУВАННЯ**

Добрива відіграють ключову роль у підвищенні родючості ґрунту та збільшенні врожайності сільськогосподарських культур. Вони забезпечують рослини необхідними елементами мінерального живлення, які критично важливі для їхнього росту, розвитку та продуктивності. У статті проаналізовано сучасні підходи до використання мінеральних та органічних добрив у сільському господарстві як ключового засобу підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. Визначено основні проблеми, пов'язані з існуючими технологіями внесення добрив, які включають неефективне використання ресурсів, недостатню увагу до агрохімічних показників ґрунту та відсутність адаптації до локальних умов.

Розглянуто конструкційні особливості глибокорозпушувачів та знарядь з одночасним внесенням твердих мінеральних добрив вітчизняного та зарубіжного виробництва. Серед параметрів врахували: глибину внесення, ширину захвату знаряддя, ширину міжрядь, об'єм місткості з добривами, наявність дозуючих механізмів, агрегування з класами тракторів. Відмічені їх переваги та недоліки у процесі роботи. Зазначено, що серед перспективних напрямів реалізації пошарового внесення мінеральних добрив робочими органами ґрунтообробних машин може бути використання: комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів з дозаторами для окремих типів добрив; роздільних систем дозування для азотних, фосфорних і калійних сполук та керованих систем точного землеробства, що дозволить змінювати норму внесення зв картою родючості поля.

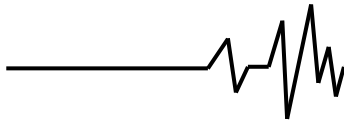
Огляд підтверджує, що застосування сучасних технологій та прийомів, таких як точне землеробство і комбіновані методи внесення добрив, дозволяє підвищити коефіцієнт засвоєння поживних речовин, оптимізувати агротехнічні процеси та знизити шкідливий вплив на довкілля.

Ключові слова: підвищення ефективності, мінеральні добрива, пошарове дозування, диференційоване внесення, глибокорозпушувач, комбінований агрегат.

Постановка проблеми. Все більшого значення набуває використання в сільському господарстві мінеральних і органічних добрив, як основного фактора підвищення ефективності вирощування сільськогосподарських культур. Науковими та практичними дослідженнями неzapеречно доведено, що добрива дозволяють збільшити врожай більш ніж вдвічі [1-4].

У забезпеченні високих і сталих урожаїв сільськогосподарських культур важливе

значення має використання мінеральних добрив, раціональне застосування яких є найважливішим фактором отримання високого врожаю [1-3]. Тому нині, враховуючи ринкові відносини так необхідно забезпечити максимальну віддачу від кожного кілограма добрив. Проте, застосовувана, у більшості господарств АПК України, система удобрення має ряд істотних недоліків, що не відповідає основному принципу агрохімії живлення рослин,



а саме, - поглинання мінеральних речовин через коріння рослин. Через недоліки існуючої техніки і технології внесення добрив та низьке поширення агротехнічних переваг коефіцієнт використання азоту становить лише 0,60-0,65, а фосфору – 0,15-0,20 [1].

Сьогодні значна кількість аграрних господарств України, незалежно від форм власності, використовує неефективну систему землеробства при вирощуванні сільськогосподарських культур та рослинної продукції [1-4]. Наприклад, обробіток ґрунту на різних ділянках поля проводиться на одній і тій же глибині, незважаючи на відмінності в щільності орного шару. Норма внесення добрив визначається на основі середніх показників для всього поля, без врахування специфічних умов окремих ділянок, карт врожайності та дистанційного моніторингу.

Крім того, застосування хімічних засобів для боротьби з шкідниками, хворобами рослин і бур'янами здійснюється за максимальними нормами, незважаючи на те, що їх поширення по полю має локальний характер. Це призводить до значних витрат на хімічні препарати та потенційного негативного впливу на довкілля [1-2]. Збирання зернових культур також проводиться без належного обліку нерівномірності врожайності, що зменшує ефективність збору та призводить до втрат продукції.

Вся ця нераціональна система веде до збільшення витрат непоновлювальних ресурсів, а також сприяє зростанню масштабів забруднення навколишнього середовища та його руйнування [1-2]. Це, в свою чергу, ставить під загрозу довгострокову стійкість аграрного сектора і продовольчу безпеку країни. Тому існує нагальна потреба у впровадженні більш раціональних та ефективних технологій, що базуються на точному землеробстві, з метою оптимізації ресурсів і мінімізації шкідливого впливу на екосистеми.

Дослідження [1] свідчать, що родючість ґрунту та його агрохімічні показники можуть суттєво коливатися навіть у межах одного поля. Це особливо стосується вмісту поживних елементів, таких як доступний азот і фосфор, варіації яких можуть досягати 60–90%. Такі коливання свідчать про неоднорідність ґрунтових умов, що, в свою чергу, може впливати на продуктивність рослин і загальний урожай вирощуваних сільськогосподарських культур.

У час постійного збільшення цін на посівний матеріал, добрива, пестициди, сільськогосподарську техніку й інші виробничі ресурси, сільське господарство стикається з нагальною потребою підвищувати ефективність використання цих матеріалів. В умовах сучасних

викликів важливо оптимізувати агрономічні практики та зменшити витрати, що спонукає агровиробників до пошуку нових підходів.

Однією з причин низької ефективності внесених мінеральних добрив, окрім інших причин, зазначених вище, є недоліки існуючої технології, технічний стан засобів механізації, не належна підготовка ґрунту до посіву [1-3]. При традиційних технологіях підготовки ґрунту до посіву зростає трудомісткість, відбувається ущільнення ґрунту, затягування термінів підготовки ґрунту, відбувається інтенсивне висушування ґрунту, що призводить до зниження урожайності сільськогосподарських культур. Встановлено, що більш перспективними є технології підготовки ґрунту до посіву та внесення добрив за один прохід [2].

Таким чином, адаптація нових технологій та стратегій ведення сільського господарства стане ключем до підвищення ефективності агровиробництва в умовах сучасних економічних і екологічних викликів.

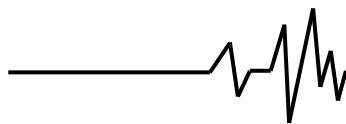
Мета роботи і завдання досліджень.

Метою роботи є встановлення конструкційних особливостей сучасних ґрунтообробних машин і знарядь для пошарового внесення твердих мінеральних добрив з метою підвищення ефективності їх використання, оптимізації технологій внесення та мінімізації негативного впливу на довкілля.

Аналіз останніх досліджень. Питанням підвищення ефективності внесення добрив вчені займаються давно і воно залишається актуальним понині. В останні роки предметом наукових досліджень стала тема пошарового внесення мінеральних добрив у ґрунт, оскільки ця технологія дозволяє підвищити ефективність використання добрив і зменшити їх шкідливий вплив на ґрунт та навколишнє середовище. Сучасні дослідження демонструють, що одночасне внесення добрив на різні глибини, дозволяє кореневій системі рослин засвоювати необхідні поживні елементи в достатній кількості, забезпечуючи оптимальні умови для росту, сприяючи підвищенню врожайності.

Автори наукової статті «Розробка та чисельне моделювання точності глибокорозпушувача із пошаровим удобренням під час посіву кукурудзи» [5] дійшли висновку, що ідея пошарового смугового внесення була достатньою для задоволення потреби в добривах в усіх періодах росту та розвитку кукурудзи, а використання смугового внесення добрив в середньому та нижньому шарах може зменшити кількість внесених добрив і одночасно покращити ефективність їх використання, що має позитивний вплив з фінансової точки зору та на захист навколишнього середовища.

Значний інтерес також викликає питання оптимальної глибини внесення добрив.



Дослідження [5] показали, що найефективнішими є глибини в межах 10-20 см для азотно-фосфорних добрив, оскільки це забезпечує доступність елементів живлення для щойно сформованих коренів рослин. На глибинах понад 30 см добрива стають менш доступними, що може знизити ефективність підживлення у початковий період росту рослин [6].

Дослідження [7] показують, що при традиційному поверхневого внесення близько 50-60% азоту із сечовини втрачається через вимивання (NO_3), випаровування (NH_3) та денітрифікацію (N_2 і N_2O), оскільки вивільнення поживних речовин із добрива не відповідає поглинанню рослиною. Впровадження нових технологій, таких як пошарове внесення забезпечує повільне та контрольоване вивільнення добрив. Виявилось ефективною стратегією для зниження втрат через випаровування або вимивання за рахунок регулювання режиму та періоду вивільнення поживних речовин, що забезпечує очевидний ефект підвищення врожайності, якості та екологію.

Виклад основного матеріалу.

Локальне внесення добрив є найбільш прийнятним способом з точки зору агротехніки, вирощування культур та ефективності використання добрив, оскільки воно усуває потребу в додаткових операціях загортання добрив у ґрунт і запобігає їх втратам через випаровування та вимивання дощами.

Сьогодні на ринку України є знаряддя, які здатні вносити мінеральні добрива локально, це глибокорозпушувач від Велес Агро GRS-4 (рис. 1), просапний культиватор КуМ-5.6 від Agrokalina (рис. 2).

Навісний глибокорозпушувач від Велес Агро GRS-4 (рис. 1) призначений для розпушування ґрунту, зриву шкідливого ущільнення після оранки та внесення твердих мінеральних добрив на регульовану глибину 250-400 мм. Ширина захвату знаряддя – 400 мм, об'єм бака для добрив – 920 л. Агрегується з тракторами класу тяги 4.0 – 5.0. Таке внесення забезпечує рослинам, в середній фазі свого розвитку, мати розвинену кореневу систему..



Рис. 1. Глибокорозпушувач GRS 4 з бункером для внесення добрив (Велес Агро)

Недоліками глибокорозпушувача є те, що тверді мінеральні добрива вносяться стрічково і тільки в дно борозни (одношарово), а також не розподіляються об'ємно.

Багатофункціональний культиватор КуМ-5.6 (рис. 2.) оснащений універсальною міцною рамою для міжрядного обробітку на глибину до 80 мм, руйнування ґрунтової кірки та видалення бур'янів та підживлення на 6, 8, 12-

рядних посівах. Ширина захвату знаряддя – 560 мм, об'єм бака для добрив – 820 л, агрегується з тракторами класу тяги 1,4.

Недоліками даного агрегату є обмежене використання його при підготовці ґрунтового фону. Мінеральні добрива також вносяться стрічково в дно борозни, відсутній об'ємний розподіл.

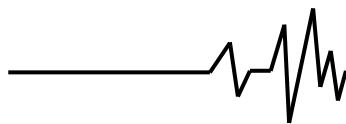


Рис. 2. Просапний культиватор КуМ-5.6 від Agrokalina

Вище перелічені знаряддя мають багато переваг, але основним недоліком є те, що даний культиватор вносять добрива тільки на встановлену глибину, в один шар ґрунту.

На ринку України є також знаряддя, які

здатні вносити мінеральні добрива у ґрунт пошарово, це глибокорозпушувач Famet Digger 3 Fert + Compact (рис. 3), посівний комплекс Horsch Focus TD (рис. 4).

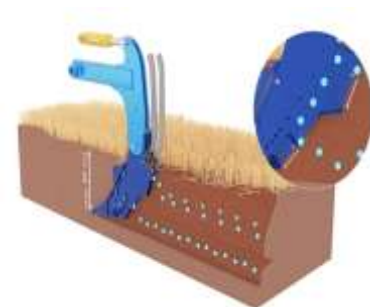


Рис. 3. Глибокорозпушувач Digger Fert + Compact

Глибокорозпушувач Famet Digger 3 Fert + Compact за один прохід розпушує підорний шар ґрунту з одночасним внесенням мінеральних добрив в два шари на глибину від 250 - 500 мм. Він оснащений бункером об'ємом 2000 л з дозуючим механізмом. Дозатор приводиться в дію механічно кроковим колесом з можливістю точного дозування від 70 до 300 кг/га в залежності від виду добрив. Вентилятор з гідравлічним приводом транспортує за допомогою повітря добрива до всіх чизелів

через розподільну головку. Глибокорозпушувач агрегатується з 3-м класом тракторів. Продуктивність його - 2,4-3,6 га/год.

Основною перевагою даного глибокорозпушувача є те, що він за один прохід здатен вносити добриво пошарово, а також підготувати ґрунт до сівби усіх культур.

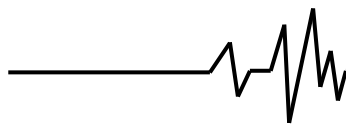
Основним недоліком є те, що він вносить добриво тільки у середній та глибокий шар ґрунту, що не підходить для припосівного внесення.



Рис. 4. Глибокорозпушувач Digger Fert + Compact

Посівний комплекс Horsch Focus TD поєднує три технологічні операції в одній - стрічковий обробіток на глибину до 300 мм,

локальне внесення добрив у два горизонти і висів зернових колосових, просапних культур та ріпака на ширину міжряддя 150 або 300 мм.



Сійки TerraGrip локально розпушують ґрунт у рядках і очищають посівну борозну і прикореневу зону від поживних рештків. Різні варіанти внесення добрив (100 % глибоко або у співвідношенні 50 % глибоко й 50 % мілко) дають змогу відповідним чином реагувати на умови сівби. Ширина захвату агрегата 300 мм, об'єм двосекційного бункера 3500 л, агрегатується з тракторами класу тяги 3-4.

Основною перевагою агрегата є те, що він здатен виконати всі етапи, від обробки ґрунту, внесення добрив та посіву за один прохід, що значно економить трудові ресурси, паливно-мастильні матеріали та час на підготовку ґрунту і посів. Добрива вносяться у верхній та нижній шар ґрунту, а це досить добре для рослини тому, що на початкових етапах її росту вона буде отримувати всі необхідні мікро, мезо та макро елементи, що буде сприяти подальшому розвитку кореневої системи і дозволить їй, в повній мірі, отримувати добрива із нижніх шарів ґрунту, тобто така технологія дає усе необхідне для рослини, а це, в свою чергу, збільшує її якісні та кількісні характеристики.

Отже, пошарове, тобто диференційоване за глибиною, внесення

мінеральних добрив полягає у розподілі елементів живлення у ґрунтовому шарі на різних глибинах, відповідно до біологічних особливостей культур і розташування основної маси їх кореневої системи. Замість традиційного поверхневого чи одношарового внесення, поживні речовини можуть розміщуватись: у верхньому шарі до 5 см для швидкодіючих форм азоту, які стимулюють початковий ріст рослин; у середньому шарі від 5 до 15 см для доступу коренів рослин на різних фазах їх розвитку і у глибших шарах від 15 до 25 см і більше для тривалого живлення фосфором і калієм у пізні періоди вегетації.

Для реалізації пошарового внесення мінеральних добрив перспективним може бути застосування: комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів з дозаторами для окремих типів добрив; роздільних систем дозування для азотних, фосфорних і калійних сполук; керованих систем точного землеробства, що дозволить змінювати норму внесення за картою родючості поля. Приклад конструктивного виконання робочих органів для локального внутрішньогрунтового внесення мінеральних добрив наведено на рисунку 5.

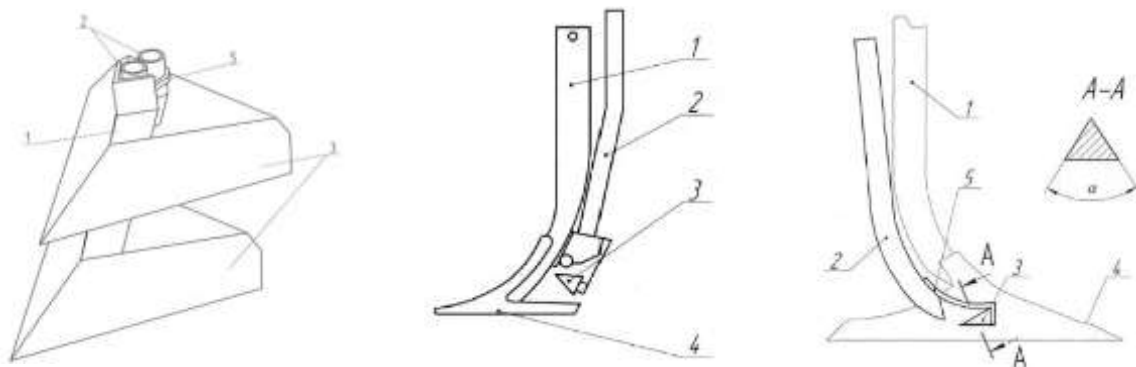


Рис. 5. Конструктивне виконання робочих органів для локального внутрішньогрунтового внесення мінеральних добрив

Таким чином, рівномірне розподілення добрив по глибині дозволить:

- забезпечити повноцінне використання елементів живлення протягом усього вегетаційного періоду;
- зменшити втрати поживних речовин через поверхневе вимивання;
- підвищити ефективність використання добрив, особливо фосфорних і калійних, які малорухомі в ґрунті;
- покращити структуру ґрунту та сприяти розвитку глибокої кореневої системи.

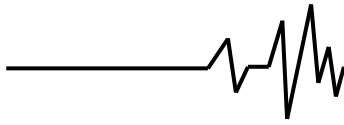
Використання технології пошарового внесення мінеральних добрив дозволяє зменшити витрати добрив на 10-25 % без зниження врожайності, підвищити коефіцієнт використання поживних речовин до 70-85 % та знизити ризик забруднення ґрунтових і

поверхневих вод

Висновки.

Застосування мінеральних добрив відіграє ключову роль у збільшенні врожайності сільськогосподарських культур, забезпечуючи рослини необхідними елементами живлення. Однак сучасна система удобрення має значні недоліки, зокрема неефективне використання ресурсів через недоліки технологій та технічних засобів. Це призводить до втрат врожаю, підвищених витрат і шкідливого впливу на довкілля.

Внесення мінеральних добрив пошарово за допомогою описаних вище знарядь дозволяє нівелювати ці проблеми, підвищити ефективність використання поживних речовин та покращити врожайність. Такий метод забезпечує точне розміщення добрив на різній



глибини, наближаючи їх до кореневої системи рослин, що сприяє оптимальному засвоєнню поживних елементів протягом усього періоду росту та розвитку. Це знижує втрати добрив через вимивання та випаровування, дозволяє підтримувати стабільний рівень родючості ґрунту і зменшує потребу у повторному внесенні.

Список використаних джерел

1. Найбільш ефективно внесення мінодобрив – під час сівби, – дослідження. URL: <https://agrotimes.ua/agronomiya/najbilsh-efektyvne-vnesennya-mindobryv-pid-chas-sivby-doslidzhennya/> (дата звернення 13.09.2025)
2. Сільськогосподарські машини: підручник. Д.Г. Войтюк, Л.В. Анісевич, В.В. Іщенко та ін: за ред. Д.Г. Войтюка. К.: Агроосвіта. 2015. 679 с.
3. Сало В. М., Лещенко С. М., Лузан П. Г., Мачок Ю. В., Богатирьов Д. В. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. Х.: Мачулін, 2016. 244 с.
4. Холодюк О., Диня В., Бонякевич О., Мовчан Д. Сучасні рішення та напрямки розвитку основних елементів системи точного землеробства. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки*. 2024. Т. 331. № 1. С. 330-338.
5. Вейвей Ван., Цзяле Сун., Гуоань Чжоу., Лунчже Цюань., Чунлін Чжан., Ліцін Чень., Розробка та чисельне моделювання точності глибокорозпушувача із пошаровим удобренням під час посіву кукурудзи. *Agronomy*, 2022, 12, 938.
6. Рослинництво: навчальний посібник. В.А. Мазур, І.С. Поліщук, Н.В. Телекало, М.О. Мордванюк; ВНАУ. Вінниця: Видавництво ТОВ "Друк", 2020. 352 с.
7. Ву Х., Ван Л., Лю С., Лі Ц., Лу Ч., Дун В. Пошарове внесення добрив покращує ефективність використання азоту шляхом підвищення поглинання та зменшення втрат азоту з сечовини. *Agronomy*, 2023, 13, 2428.
8. Мельник В. І., Романашенко О. А., Анікеєв О. І., Фесенко Г. В. Удосконалення роторного розкидача органічних добрив. *Науковий журнал «Інженерія природокористування»* 2018. № 2 (10). С. 59-62.

References

1. Naibilsh efektyvne vnesennia mindobryv – pid chas sivby, – doslidzhennia. URL: <https://agrotimes.ua/agronomiya/najbilsh-efektyvne-vnesennya-mindobryv-pid-chas-sivby-doslidzhennya/> (data zvernennia 13.09.2024)

2. Silskohospodarski mashyny: pidruchnyk. D.H. Voitiuk, L.V. Aniskevych, V.V. Ishchenko ta in: za red. D.H. Voitiuka. K.: Ahroosvita. 2015. 679 s.

3. Salo V. M., Leshchenko S. M., Luzan P. H., Machok Yu. V., Bohatyrov D. V. (2016). Mashyny dlia obrobittu gruntu ta vnesennia dobriv. Mashyny dlia obrobittu gruntu ta vnesennia dobriv. navchalnyi posibnyk dlia studentiv ahrotekhnichnykh spetsialnostei. Kh.: Machulin. 244 s.

4. Kholodiuk O., Dynia V., Boniakevych O., Movchan D. (2024). Suchasni rishennia ta napriamky rozvytku osnovnykh elementiv systemy tochnoho zemlerobstva. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: tekhnichni nauky. T. 331. № 1. S. 330-338.

5. Wang, W.; Song, J.; Zhou, G.; Quan, L.; Zhang, C.; Chen, L. Development and Numerical Simulation of a Precision Strip-Hole Layered Fertilization Subsoiler While Sowing Maize. *Agriculture* 2022, 12, 938. <https://doi.org/10.3390/agriculture12070938>.

6. Roslynnytstvo: navchalnyi posibnyk. V.A. Mazur, I.S. Polishchuk, N.V. Telekalo, M.O. Mordvaniuk; VNAU. Vinnytsia: Vydavnytstvo TOV "Druk", 2020. 352 s.

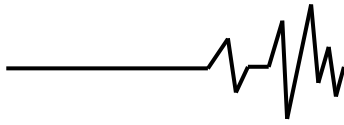
7. Wu, H.; Wang, L.; Liu, X.; Li, Q.; Lu, C.; Dong, W. Layered-Strip Fertilization Improves Nitrogen Use Efficiency by Enhancing Absorption and Suppressing Loss of Urea Nitrogen. *Agronomy* 2023, 13, 2428.

8. Melnyk V. I., Romanashenko O. A., Anikeiev O. I., Fesenko H. V. (2018). Udoskonalennia rotornoho rozkydacha orhanichnykh dobriv. Naukovyi zhurnal «Inzheneriia pryrodokorystuvannia». № 2 (10). S. 59-62.

INCREASING THE EFFICIENCY OF MINERAL FERTILIZER APPLICATION THROUGH STAGED DOSING

Fertilizers play a key role in increasing soil fertility and crop yields. They provide plants with the necessary mineral nutrients that are critical for their growth, development, and productivity. Plants absorb nutrients in the form of ions, so in order for mineral fertilizers to become available, they must undergo a dissociation process, breaking down into cations and anions.

The article analyzes modern approaches to the use of mineral and organic fertilizers in agriculture as a key means of increasing crop productivity. The main problems associated with existing fertilizer application technologies are identified, which include inefficient use of resources, insufficient attention to agrochemical soil parameters, and lack of adaptation to local conditions.



The design features of deep cultivators and tools for simultaneous application of solid mineral fertilizers of domestic and foreign production are considered. Their advantages and disadvantages in operation are noted. It is noted that the implementation of layer-by-layer application of mineral fertilizers by the working bodies of soil-tillage machines can be achieved by using: combined soil-tillage-seeding units with dispensers for individual types of fertilizers; separate dosing systems for nitrogen, phosphorus and potassium compounds and controlled precision farming

systems, which will allow changing the application rate based on the field fertility map.

The review confirms that the use of modern technologies and techniques, such as precision farming and combined methods of fertilizer application, allows to increase the nutrient absorption rate, optimize agrotechnical processes and reduce the harmful impact on the environment.

Keywords: efficiency improvement, mineral fertilizers, layered dosing, differentiated application, deep cultivator, combined unit.

Відомості про авторів

Холодюк Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: holodyk@vsau.vin.ua, ORCID: 0000-0002-4161-6712).

Мовчан Дмитро Анатолійович – аспірант, Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: d.movchan96@gmail.com <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0001-8372-5933>).

Kholodyuk Oleksandr – - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering and Technical Service of the Vinnytsia National Agrarian University (Sonyachna Street, 3, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: holodyk@vsau.vin.ua, ORCID: 0000-0002 -4161-6712).

Movchan Dmytro – postgraduate of Vinnytsia National Agrarian University (Sonyachna St., 3, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: d.movchan96@gmail.com <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0001-8372-5933>).

Стаття надійшла 12.11.2025

Стаття прийнята 20.11.2025

Опубліковано 25.12.2025