

УДК 633.854.78 : 631. 81

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.149.1.19>

## ГОСПОДАРСЬКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РІЗНИХ НОРМ РОБОЧОГО РОЗЧИНУ ТА ДОЗ ГЕРБІЦИДУ ПРИ ВНЕСЕНІ АГРОДРОНОМ

**Козечко В.І.** – к.с.-г.н.,

доцент кафедри загального землеробства та ґрунтознавства,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

[orcid.org/0000-0002-3843-3093](https://orcid.org/0000-0002-3843-3093)

**Шевченко С.М.** – д.с.-г.н.,

професор кафедри загального землеробства та ґрунтознавства,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

[orcid.org/0000-0002-1666-3672](https://orcid.org/0000-0002-1666-3672)

**Якубенко Ю.Л.** – к.е.н., доцент,

т.в.о. зав. кафедри маркетингу,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

[orcid.org/0000-0001-5409-4792](https://orcid.org/0000-0001-5409-4792)

**Іванченко О.М.** – д.філос. з агрономії,

Товариство з обмеженою відповідальністю «Агрос+» Дніпровського району

Дніпропетровської області

[orcid.org/0009-0003-0235-1496](https://orcid.org/0009-0003-0235-1496)

У роботі представлено результати комплексних досліджень впливу норм робочих розчинів та доз гербіциду Експрес Голд на формування біометричних показників, водоспоживання, рівень забур'яненості, елементи структури врожаю, урожайності та економічну ефективність вирощування соняшнику в умовах Степу України. Дослідження виконано протягом 2024–2025 рр. у варіантах, що поєднували чотири норми робочого розчину (7, 10, 13 і 16 л/га) та три дози гербіциду (20, 30 і 40 г/га), що дозволило встановити закономірності взаємодії цих технологічних чинників.

Дослідження встановило суттєвий вплив гербіцидного контролю на забур'яненість посівів. До внесення препаратів щільність бур'янів сягала 35 шт./м<sup>2</sup>, формуючи значну біомасу. Найвища ефективність контролювання бур'янів через 25 діб після обробки зафіксована у варіанті 13 л/га + 30 г/га, де кількість дводольних бур'янів зменшувалася до 10–12 шт./м<sup>2</sup> із повним пригніченням точки росту та відсутністю відновлення. Підвищення норми робочої рідини понад 13 л/га не забезпечувало додаткового поліпшення контролю.

Встановлено чітку залежність між ефективністю контролювання бур'янів та елементами структури врожаю. Збільшення діаметра кошика до 18,6 см, озерненості до 15,3 см та виходу насіння до 84% спостерігалось у варіантах із підвищеною ефективністю гербіцидної дії. Маса 1000 насінин за оптимальних поєднань зростала до 66 г, що на 10 г перевищувало контроль.

Урожайність насіння соняшнику коливалася в межах 2,03–2,51 т/га залежно від рівня гербіцидного навантаження. Найвищу продуктивність забезпечувало поєднання 13 л/га робочого розчину та 30 г/га гербіциду, що підвищувало врожайність на 23,6% порівняно з контролем. Застосування норм понад 13 л/га не давало додаткових переваг. Достовірність отриманих відмінностей підтверджено статистичною обробкою за НІР<sub>05</sub>.

Економічні розрахунки показали, що оптимізація гербіцидного захисту суттєво впливала на економічну віддачу технології. Максимальний умовно чистий прибуток (понад



20 тис. грн/га) та найвищий рівень рентабельності (86,5%) отримано у варіанті 13 л/га + 30 г/га. Збільшення норми робочого розчину понад цей рівень знижувало економічну ефективність через зростання витрат без відповідного приросту врожаю.

Отримані результати дозволяють рекомендувати для умов Степу України оптимальне поєднання норми робочого розчину 13 л/га та дози гербіциду 30 г/га, яке забезпечує найбільш ефективний контроль бур'янів, сприяє формуванню потужного фотосинтетичного апарату, зниженню водоспоживання, підвищенню продуктивності посівів та максимальній економічній віддачі технології.

**Ключові слова:** соняшник, гербіцид Експрес Голд, норма робочого розчину, доза гербіциду, агродрон.

### **Kozzechko V.I., Sevchenko S.M., Yakubenko Yu.L., Ivanchenko O.M. Efficiency of different rates of working solution and herbicide doses when applied by agricultural drone**

The study presents the results of comprehensive research aimed at assessing the effects of different working solution volumes and herbicide Express Gold application rates on the formation of biometric parameters, water consumption, weed infestation dynamics, yield structure, seed productivity, and economic performance of sunflower cultivation under the conditions of the Ukrainian Steppe. The experiment was conducted during 2024–2025 and included treatment combinations comprising four working solution rates (7, 10, 13, and 16 L/ha) and three herbicide doses (20, 30, and 40 g/ha), which enabled identification of technological interactions between these factors.

The study demonstrated a pronounced decrease in weed density following herbicide application. Before treatment, weed infestation reached 35 plants/m<sup>2</sup> with substantial biomass accumulation. The highest weed control efficiency was observed 25 days after treatment in the variant 13 L/ha + 30 g/ha, where the number of dicot weeds declined to 10–12 plants/m<sup>2</sup>, accompanied by full apical growth suppression and absence of regrowth. Increasing solution rates beyond 13 L/ha did not improve control effectiveness.

A strong relationship was identified between weed control efficiency and yield structure. Increased head diameter (up to 18.6 cm), higher seed set (up to 15.3 cm), and seed fill ratio (up to 84%) were recorded under the most efficient herbicide treatments. Thousand-seed weight reached 66 g in optimal variants, exceeding the control by 10 g.

Seed yield varied within 2.03–2.51 t/ha depending on herbicide application level. The highest productivity was achieved with the combination of 13 L/ha working solution and 30 g/ha herbicide, resulting in a 23.6% yield increase relative to the control. Application volumes over 13 L/ha did not provide additional benefits. Significant differences were confirmed using statistical analysis at LSD<sub>0.05</sub>.

Economic evaluation showed that optimizing herbicide use had a substantial impact on production efficiency. The highest conditional net profit (over 20 thousand UAH/ha) and maximum profitability level (86.5%) were obtained at the rate combination 13 L/ha + 30 g/ha. Increasing the working solution volume beyond this threshold reduced economic efficiency due to higher costs and no corresponding yield gain.

The findings indicate that, under the conditions of the Ukrainian Steppe, the optimal technological combination is 13 L/ha of working solution together with 30 g/ha of Express Gold, which ensures the most effective weed suppression, promotes development of a strong photosynthetic apparatus, reduces water consumption, increases crop productivity, and maximizes economic return.

**Key words:** sunflower, Express Gold herbicide, working solution rate, herbicide dose, agricultural drone.

**Постановка проблеми.** У сучасних технологіях вирощування соняшника важливе місце посідає застосування гербіцидів на основі трибенурон-метилу (зокрема препаратів типу Експрес Голд), ефективність яких значною мірою залежить від норми робочого розчину. Оптимізація об'єму води та дози діючої речовини при застосуванні агродрону дозволяє одночасно підвищити якість покриття бур'янів, зменшити виробничі витрати та енергоємність технології. Проте відсутність єдиних рекомендацій щодо раціонального поєднання цих факторів в умовах Степу України актуалізує проведення наукових досліджень з метою підвищення ефективності контролювання бур'янів і стабілізації продуктивності соняшника.

У численних працях українських і зарубіжних дослідників висвітлено вплив забур'яненості на ріст та розвиток соняшника, критичні періоди конкурентної взаємодії рослин та біологічну ефективність різних гербіцидів. Доведено, що ефективність гербіцидів залежить не лише від діючої речовини, а й від рівномірності покриття поверхні бур'янів, розміру крапель, кількості робочого розчину та погодних умов під час внесення. Проте комплексні дослідження, що поєднують вивчення норм робочого розчину, доз гербіцидів внесенні агродроном, біометричних показників соняшника та економічної ефективності технології, залишаються недостатньо систематизованими для умов Південно-Східного Степу України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сучасній системі точного землеробства агродрони розглядаються як один із найбільш перспективних інструментів для диференційованого та локального внесення засобів захисту рослин, зокрема гербіцидів. Науковий інтерес до цієї технології пов'язаний із необхідністю зменшення пестицидного навантаження, скорочення витрат робочого часу, підвищення оперативності обробок і зниження ущільнення ґрунту, яке виникає під час використання наземних обприскувачів. У літературі агродрони найчастіше розглядаються не лише як засіб для суцільного обприскування, а як елемент інтегрованої системи моніторингу бур'янів, картування поля та точкового внесення гербіцидів у місцях фактичного забур'янення. За даними сучасних оглядів, використання безпілотних літальних апаратів у захисті рослин активно переходить від етапу спостереження й аерофотозйомки до практичного застосування для внесення рідких препаратів, включаючи гербіциди [1-4].

У працях, присвячених точному контролю бур'янів, підкреслюється, що агродрони мають особливе значення в умовах, коли традиційна техніка не може ефективно працювати через перезволоження ґрунту, складний рельєф, високорослі культури або необхідність швидкого реагування на появу бур'янів. У дослідженнях також зазначається, що дрони є зручними для обробки країв полів, локальних осередків бур'янів, схилів, заболочених місць і ділянок, де застосування штангової техніки є економічно або технічно недоцільним [5-7].

Важливим напрямом досліджень є порівняння ефективності гербіцидного обробітку за допомогою агродронів і традиційних способів внесення. У дослідженнях з вирощування рису прямого висіву зазначено, що ручне або ранцeve внесення гербіцидів часто супроводжується нерівномірністю покриття, високими трудовими витратами та ризиками для оператора, тоді як застосування БПЛА дозволяє зменшити витрати праці, енергії та часу. Водночас результати окремих досліджень свідчать, що ефективність гербіцидів при внесенні дронами може бути порівняною з традиційними способами за умови правильного вибору норми робочої рідини, висоти польоту, швидкості руху та типу розпилювачів [3, 8].

В наукових джерелах займає питання норми виливу робочої рідини. Для агродронів характерне застосування значно нижчих норм води порівняно з традиційними штанговими обприскувачами, що зменшує потребу в підвезенні води та підвищує продуктивність робіт. Проте низький об'єм робочої рідини водночас ускладнює забезпечення рівномірного покриття листової поверхні бур'янів, особливо за використання контактних гербіцидів, для яких якість покриття має критичне значення. У дослідженнях щодо оптимізації об'єму робочої рідини під час внесення гербіцидів дронами зазначено, що системні гербіциди можуть демонструвати стабільну ефективність навіть за знижених норм виливу, тоді як для препаратів контактної дії необхідне точніше налаштування режиму обприскування [9-10].

Перевагою агродронів у гербіцидному захисті є висока оперативність. У періоди, коли погодні умови створюють короткі «вікна» для обробки, дрони можуть швидко виходити в поле без потреби у важкій техніці. Це важливо для гербіцидів, ефективність яких значною мірою залежить від фази розвитку бур'янів і культури.

Разом із перевагами дослідники відзначають низку обмежень. До них належать відносно невелика місткість баків, потреба в частому заправленні, залежність від акумуляторів, необхідність кваліфікованого оператора, регуляторні обмеження, ризик нерівномірного покриття та складність стандартизації режимів обприскування для різних культур і препаратів [11].

Узагальнення літературних джерел свідчить, що застосування агродронів для внесення гербіцидів є перспективним напрямом розвитку точного землеробства, однак ця технологія ще потребує подальшого наукового обґрунтування для різних ґрунтово-кліматичних зон, культур, типів гербіцидів і фаз розвитку бур'янів. Найбільш перспективним вважається не просте заміщення традиційного обприскування дроном, а використання агродронів у системі диференційованого захисту посівів, коли рішення про внесення препарату ґрунтується на даних моніторингу, картуванні забур'яненості та точному дозуванні. Для умов України актуальними залишаються дослідження ефективності дронавого внесення гербіцидів у посівах зернових, кукурудзи, соняшнику, ріпаку та зернобобових культур, а також визначення оптимальних норм виліву, доз гербіцидів.

**Матеріали і методи досліджень.** Польові досліді проводили на виробничому полі ТОВ «Агресс+» Дніпровського району Дніпропетровської області протягом 2024–2025 років.

У виробничих умовах був закладений та проведено дослід з вивчення ефективності застосування агродрону при внесенні гербіциду Експрес Голд різними нормами робочого розчину та дози гербіциду за наступною схемою (табл. 1):

Таблиця 1

Схема досліді

Норма робочого розчину, л/га, (А)	Доза гербіциду, г/га (В)
Контроль	-
7	20
	30
	40
10	20
	30
	40
13	20
	30
	40
16	20
	30
	40

Дослідні ділянки розташовані систематично з трьома повтореннями. Кожна ділянка мала посівну площу 0,5 га (50×100 м) та облікову площу 0,24 га (30×80 м). Сукупна площа, відведена під проведення дослідження, становила 6,0 га.

Технологічні прийоми вирощування соняшнику в господарстві були адаптовані до умов північної частини Степової зони України та ґрунтувалися на вимогах інтенсивної технології, прийнятої для регіону. Культура розміщувалася у п'ятипільній зерно-просапній сівозміні, де попередником виступала кукурудза. Восени проводили оранку оборотним плугом Lemken Diamant 11, заглиблюючи робочі органи в ґрунт на глибину 26–28 см.

Ранньовесняний період передбачав мінімальне порушення ґрунту: після сходу снігу поверхневий шар розпушували бороною «Соломія». Подальша підготовка передбачала передпосівний обробіток комплексним агрегатом Компактомат, який вирівнював рельєф поля та створював дрібногрудочкувату структуру ґрунту на глибину 5–7 см.

Посів соняшнику здійснювали високоточним посівним комплексом Horsch Maestro, що гарантує стабільність розміщення насінин та рівномірну густоту майбутнього стеблостою. Норма висіву становила 55 тис. насінин/га, гібрид Суомі, а глибина заробки 5–6 см. Ширина міжрядь – 70 см. Одночасно з висівом у рядок вносили стартове мінеральне добриво у нормі  $N_{20}P_{20}$ .

Усі обліки, спостереження та визначення елементів структури врожаю проводили відповідно до чинних методичних рекомендацій для польових дослідів. Урожайність оцінювали методом суцільного збирання облікових ділянок із подальшим перерахунком на стандартну вологість насіння.

**Результати досліджень.** Фітосанітарний стан посівів соняшника перед внесенням гербіцидів у різні за забезпеченням вологою роки та відображають видовий склад, чисельність і загальну масу бур'янів, що формують конкуренцію культурі на початкових етапах органогенезу. У 2024 році, який відзначався кращими умовами зволоження, загальна забур'яненість була значно вищою порівняно з 2025 роком. Домінантним видом залишалася амброзія полинолиста. Її чисельність сягала 27 шт./м<sup>2</sup>, що суттєво підсилювало загальний тиск бур'янової рослинності на посіви. Поряд із амброзією значну частку у структурі бур'янів становили мишій сизий та лобода біла, чисельність яких становила відповідно 21 та 12 шт./м<sup>2</sup>, тоді як берізка польова зустрічалася меншою кількістю – 8 шт./м<sup>2</sup>, проте її морфологічні особливості забезпечували істотну частку у формуванні загальної біомаси. Сумарна маса бур'янів у сирому стані у 2024 році складала 16,24 г/м<sup>2</sup>, а в повітряно-сухому – 3,93 г/м<sup>2</sup>.

2025 рік характеризувався дефіцитом опадів, що істотно скоротило як чисельність бур'янів, так і їх біомасу. Амброзія полинолиста, хоча й залишалася основним видом у складі бур'янового угруповання, знизилася свою чисельність до 16 шт./м<sup>2</sup>, що на 40 % менше порівняно з попереднім роком. Лобода біла та мишій сизий мали відповідно 5 та 12 шт./м<sup>2</sup>, що демонструє їх високу чутливість до водного дефіциту. Осот польовий, попри незначну кількість рослин, формував суттєвий внесок у масу бур'янів завдяки добре розвиненій кореневій системі. Загальна маса бур'янів у сирому стані в 2025 році знизилася до 10,36 г/м<sup>2</sup>, а суха маса – до 2,13 г/м<sup>2</sup>, що підтверджує значний вплив погодних умов на формування бур'янової біомаси.

Через 25 діб після обробки у контрольному варіанті (табл. 2), де обробка не проводилася, спостерігалася активне вегетування бур'янів, що зумовлювало значне затримання росту і розвитку культурних рослин. Кількість дводольних бур'янів досягала 35 шт./м<sup>2</sup>, а загальний стан засмічення характеризувався високою конкуренцією за світло, вологу та поживні речовини.

Застосування робочого розчину 7 л/га у поєднанні з дозами гербіциду 20–40 г спричинило пригнічення бур'янів, проте дія була недостатньою для забезпечення

повного контролю. Кількість бур'янів знижувалася до 18–15 шт./м<sup>2</sup>, але зберігалися ознаки активного відновлення рослин. У варіантах із підвищеною дозою (30 і 40 г) спостерігалися ознаки більш глибокого ураження, включаючи деформацію листкової пластинки.

Таблиця 2

**Вплив норм робочого розчину, доз гербіцидів на забур'яненість посівів соняшника через 25 днів після внесення засобів захисту (середнє за 2024–2025 рр.)**

Норма робочого розчину, л/га	Доза гербіциду	Кількість дводольних бур'янів, шт./1м <sup>2</sup>	Стан бур'янів
Контроль		35	рослини бур'янів активно вегетують, у соняшника затримується ріст і розвиток
7	20	18	ріст призупинено, точка росту ушкоджена та має світліше забарвлення
	30	16	ріст призупинено, точка росту ушкоджена та має світліше забарвлення
	40	15	ріст призупинено, точка росту ушкоджена та має світліше забарвлення, бур'яни з 2 парами листків загинули
10	20	16	ріст призупинено, точка росту ушкоджена та має світліше забарвлення
	30	14	ріст призупинено, точка росту ушкоджена та має світліше забарвлення
	40	12	ріст призупинено, точка росту ушкоджена та має світліше забарвлення, бур'яни з 2 парами листків загинули
13	20	14	ріст призупинено, точка росту ушкоджена та має світліше забарвлення
	30	12	ріст призупинено, точка росту ушкоджена та має світліше забарвлення, бур'яни з 2 парами листків загинули
	40	12	ріст призупинено, точка росту ушкоджена та має світліше забарвлення, бур'яни з 2 парами листків загинули
16	20	14	ріст призупинено, точка росту ушкоджена та має світліше забарвлення
	30	14	ріст призупинено, точка росту ушкоджена та має світліше забарвлення, бур'яни з 2 парами листків загинули
	40	12	ріст призупинено, точка росту ушкоджена та має світліше забарвлення, бур'яни з 2 парами листків загинули

Найбільш виражений гербіцидний ефект фіксувався у варіантах із нормою робочого розчину 13 л/га, де кількість бур'янів становила лише 14–10 шт./м<sup>2</sup>. Саме при дозі 30 г спостерігалось максимальне пригнічення, включаючи скручування пагонів, повне відмирання точки росту та формування некрозів на листках. У цьому варіанті бур'яни втрачали здатність до відновлення, що підтверджує оптимальне поєднання норми робочого розчину і дози препарату. Варіант з нормою 40 г також демонстрував високу ефективність, проте з огляду на схожий результат зі зменшеною дозою, його використання може бути економічно недоцільним.

Внесення 16 л/га робочого розчину не призвело до відчутного збільшення ефективності порівняно з 13 л/га. Кількість бур'янів становила 14–12 шт./м<sup>2</sup>, а симптоми ураження не відрізнялися суттєво. Це може свідчити про досягнення межі ефективності, після якої додаткове збільшення об'єму робочої рідини не забезпечує покращення дії препарату. Практично ідентичні результати підтверджують недоцільність застосування підвищеної норми, оскільки вона не підвищує рівень контролю дводольних бур'янів, але збільшує витрати.

У середньому по роках спостерігається виразна тенденція до зростання маси насіння за рахунок оптимізації параметрів обробки посівів, хоча варіабельність показника між роками зумовлена різними гідротермічними умовами, зокрема менш сприятливими умовами 2025 р., що відобразилося у нижчих значеннях маси насіння у всіх варіантах (табл. 3).

Контрольний варіант характеризувався найнижчою масою 1000 насінин (57 г), що свідчить про істотний негативний вплив конкуренції бур'янів на формування виповненості насіння. Застосування мінімальної норми робочого розчину 7 л/га з дозами гербіциду 20–40 г підвищувало масу насіння до 58–61 г, що демонструє ефективність базового рівня гербіцидного захисту. Проте його дія була недостатньою для забезпечення максимальної реалізації біологічного потенціалу культури, оскільки збільшення норми робочого розчину до 10 л/га сприяло більш істотному приросту показника, зокрема за дози 30 г значення досягало 63 г, що на 7 г перевищувало контроль.

Таблиця 3

**Маса 1000 насінин соняшника  
залежно від досліджуваних факторів і варіантів, г**

Норма робочого розчину, л/га (А)	Доза гербіциду, (В)	Роки			
		2024	2025	середня	+/- до контролю
Контроль		60	53	57	-
7	20	62	55	59	2
	30	64	57	61	4
	40	61	54	58	1
10	20	65	57	61	5
	30	67	59	63	7
	40	64	56	60	4
13	20	68	60	64	8
	30	70	62	66	10
	40	67	59	63	7
16	20	68	60	64	8
	30	69	61	65	9
	40	66	58	62	6

Найвищі показники маси 1000 насінин зафіксовано у варіантах із нормою робочого розчину 13 л/га, де середнє значення коливалося в межах 64–66 г залежно від дози. Застосування 30 г гербіциду забезпечило найбільший приріст показника: маса насіння досягла 66 г, що на 10 г вище контролю.

Підвищення норми робочого розчину до 16 л/га не забезпечило додаткового істотного приросту маси насіння. Показники варіювали у межах 62–64 г, що є на рівні результатів варіантів із нормою 13 л/га або навіть дещо нижче.

У контрольному варіанті, де гербіцидний захист не проводили, середня врожайність становила 2,03 т/га (табл. 4).

Таблиця 4

**Урожайність насіння соняшнику залежно від досліджуваних факторів і варіантів, т/га**

Норма робочого розчину, л/га (А)	Доза гербіциду, (В)	Роки		Середня	+/- до контролю
		2024	2025		
Контроль		2,32	1,74	2,03	-
7	20	2,45	1,82	2,14	+0,11
	30	2,53	1,90	2,22	+0,19
	40	2,56	1,92	2,24	+0,21
10	20	2,61	1,95	2,28	+0,25
	30	2,72	2,03	2,38	+0,35
	40	2,75	2,05	2,40	+0,37
13	20	2,78	2,06	2,42	+0,39
	30	2,87	2,15	2,51	+0,48
	40	2,85	2,12	2,49	+0,46
16	20	2,80	2,04	2,42	+0,39
	30	2,86	2,13	2,50	+0,47
	40	2,83	2,10	2,47	+0,44
НП <sub>05</sub> , т/га,	для норм р.р.	0,10	0,12		
	для доз гербіциду	0,12	0,14		

По мірі зростання норми робочого розчину від 7 до 13 л/га відбувалося систематичне підвищення врожайності, що свідчить про більш рівномірне змочування поверхні бур'янів і покращення проникнення діючої речовини у їх тканини. Так, середні показники для 7 л/га становили 2,14–2,24 т/га, тоді як при нормі 10 л/га – 2,28–2,40 т/га. Найвищі значення зафіксовано у варіантах з нормою робочого розчину 13 л/га, де врожайність досягала 2,42–2,51 т/га залежно від дози препарату. Саме варіант 13 л/га + 30 г гербіциду забезпечив максимальний результат – 2,51 т/га, що на 0,48 т/га (23,6%) перевищувало контроль.

Застосування 16 л/га не покращувало врожайність порівняно з нормою 13 л/га. Середні значення знаходилися в межах 2,42–2,50 т/га.

Порівняння даних за роками підтвердило, що 2025 рік був менш сприятливим для формування продуктивності – через дефіцит опадів і підвищений температурний фон врожайність знизилася на 15–22% порівняно з 2024 роком. Проте

тенденція впливу факторів залишалася стабільною: найкращі результати забезпечували варіанти 10–13 л/га робочого розчину та дози гербіциду 30–40 г/га.

Результати економічного аналізу свідчать, що рівень урожайності сояшника істотно залежав від поєднання норми робочого розчину та дози гербіциду (табл. 5).

Мінімальна доза гербіциду за норми робочого розчину 7 л/га забезпечувала підвищення врожайності до 2,14 т/га порівняно з контрольним – 2,03 т/га. Цей ефект посилювався із зростанням доз препарату та досягав найбільшого значення за внесення 30–40 г/га.

Суттєве зростання економічних показників спостерігалось при переході від норми робочого розчину 7 до 10 л/га. За внесення 30 г/га препарату врожайність підвищувалася до 2,38 т/га, що забезпечувало вагоме збільшення вартості валової продукції (42364 грн/га) та чистого прибутку (18171 грн/га). Рентабельність за таких умов досягала 78,0 %, що значно перевищувало як контрольний варіант, так і всі попередні комбінації факторів.

Найвищі економічні показники фіксувалися при нормі робочого розчину 13 л/га та дозі гербіциду 30 г/га. Урожайність за таких умов досягала 2,51 т/га, вартість валової продукції становила 44768 грн/га, а умовний чистий прибуток – понад 20724 грн/га. Рентабельність перевищувала 86 %, що вказує на винятково високу результативність поєднання цих факторів.

Таблиця 5

**Економічна ефективність застосування різних доз гербіцидів,  
норм робочих розчинів**

Норма робочого розчину, л/га	Доза гербіциду	Урожайність насіння, т/га	Реалізаційна ціна, грн/т	Витрати на препарати, внесення, воду, грн/га	Виробничі витрати всього, грн/га	Вартість валової продукції, грн/га	Умовно чистий прибуток, грн/га	Рівень рентабельності, %	Відхилення +/- відсоткових пунктів
Контроль		2,03	17800	–	23678	36134	12456	52,6	
7	20	2,14	17800	318	23996	38092	14096	58,7	6,1
	30	2,22	17800	371	24049	39516	15467	64,3	11,7
	40	2,24	17800	426	24104	39872	15768	65,4	12,8
10	20	2,28	17800	318	23899	40584	16685	69,8	17,2
	30	2,38	17800	371	23952	42364	18412	76,9	24,3
	40	2,40	17800	426	24005	42720	18715	78,0	25,4
13	20	2,42	17800	318	23909	43076	19167	80,2	27,6
	30	2,51	17800	371	23954	44678	20724	86,5	33,9
	40	2,49	17800	426	24007	44322	20315	84,6	32,0
16	20	2,42	17800	318	23911	43076	19165	80,2	27,5
	30	2,50	17800	371	23965	44500	20535	85,7	33,1
	40	2,47	17800	426	24018	43966	19948	83,1	30,4

Норми робочого розчину 16 л/га демонстрували тенденцію до вирівнювання показників відносно варіантів із внесенням 13 л/га. Хоча за деякими дозами гербіциду врожайність досягала 2,50–2,47 т/га, економічні показники не мали істотної переваги над варіантами з нормою 13 л/га. Вартість валової продукції та чистий прибуток були дещо нижчими, а рентабельність коливалася в межах 73–80 %.

**Висновки.** Оптимальним технологічним рішенням для умов Степу України є внесення робочого розчину у нормі 13 л/га у поєднанні з дозою гербіциду 30 г/га, що забезпечує максимальну ефективність контролювання бур'янів, підвищує продуктивність агроценозу та гарантує найвищі економічні показники.

Підвищення норм робочого розчину до 7–10 л/га покращувало ефективність застосованого гербіциду, сприяло збільшенню площі листової поверхні, висоти рослин, маси 1000 насінин та частки озерненості кошика. Проте дія цих норм була недостатньою для повної реалізації потенціалу культури.

Перевищення норми робочого розчину до 16 л/га не дало додаткових агрономічних чи економічних переваг, що свідчить про досягнення технологічної та економічної межі ефективності при 13 л/га.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Nobre F. L. L., Santos R. F., Herrera J. L., Araújo A. L., Johann J. A., Gurgacz F., Siqueira J. A. C., Prior M. Use of drones in herbicide spot spraying: a systematic review. *Advances in Weed Science*. 2023. Vol. 41. Article e020230014. DOI: 10.51694/AdvWeedSci/2023;41:00028.
2. Paul R. A. I., Palanisamy M. A., Peramaiyan P., Kumar V., Bagavathiannan M., Gurjar B., Vijayakumar S., Djanaguiraman M., Pazhanivelan S., Ramasamy K. Spray volume optimization with UAV-based herbicide application for effective droplet deposition and weed control in direct-seeded rice. *Frontiers in Agronomy*. 2024. Vol. 6. Article 1491842. DOI: 10.3389/fagro.2024.1491842.
3. Козечко В.І., Іванченко О.М. Ефективність застосування мікродобрив в посівах соняшнику. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 136. ч 1. С. 192–201.
4. Pranaswi D., Jagtap M. P., Shinde G. U., Khatri N., Shetty S., Pare S. Analyzing the synergistic impact of UAV-based technology and knapsack sprayer on weed management, yield-contributing traits, and yield in wheat (*Triticum aestivum* L.) for enhanced agricultural operations. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 219. Article 108796. DOI: 10.1016/j.compag.2024.108796.
5. Meesaragandla S., Jagtap M. P., Khatri N., Madan H., Vadduri A. A. Herbicide spraying and weed identification using drone technology in modern farms: A comprehensive review. *Results in Engineering*. 2024. Vol. 21. Article 101870. DOI: 10.1016/j.rineng.2024.101870.
6. Chen Y., Qi H. L., Li G. Z., Lan Y. B. Weed control effect of unmanned aerial vehicle (UAV) application in wheat field. *International Journal of Precision Agricultural Aviation*. 2019. Vol. 2, No. 2. P. 25–31. DOI: 10.33440/j.ijpaa.20190202.45.
7. Козечко В.І., Іванченко О.М. Вплив різних доз гербіцидів і норм внесення робочої рідини на посівах соняшнику. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 141. С. 136–146.
8. Hunter J. E. III, Gannon T. W., Richardson R. J., Yelverton F. H., Leon R. G. Coverage and drift potential associated with nozzle and speed selection for herbicide applications using an unmanned aerial sprayer. *Weed Technology*. 2020. Vol. 34, Issue 2. DOI: 10.1017/wet.2019.101.
9. Hunter J. E. III, Gannon T. W., Richardson R. J., Yelverton F. H., Leon R. G. Integration of remote-weed mapping and an autonomous spraying unmanned aerial vehicle for site-specific weed management. *Pest Management Science*. 2020. Vol. 76, Issue 4. P. 1386–1392. DOI: 10.1002/ps.5651.

10. Che Ruzlan K. A., Bakar S. A., Che Manan C. A. H., Mohd Noor M. K. A., Abd Latif M. R. B., Zainal Abidin C. M. R., Jusoh M., Ahmad Hamdani M. S. Weed control efficiency of unmanned aerial vehicle spray in replanting oil palm plantation areas. *Weed Science*. 2025. Vol. 73. Article e37. DOI: 10.1017/wsc.2024.91.

11. Volodymyr Kozechko, Olha Ivanchenko. Express Gold herbicide effectiveness based on application methods in sunflower crops. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2025. Vol. 29, No. 1. С. 20–29.

Дата першого надходження статті до видання: 29.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

---