

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ІНСТИТУТ ЗЕМЛЕРОБСТВА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ»**

**ЗАСТОСУВАННЯ РЕСУРСО-
ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ІННОВАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ
В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ**

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Вінниця–2025

УДК 631.51:552.554:631.445.4

3-36

*Рекомендовано до друку Вченою радою ННЦ «ІЗ НААН»
(протокол № 10 від 06 жовтня 2025 р.)*

Рецензенти:

Д. В. Літвінов – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва ім. О.І. Душечкіна НУБіП України;

І. В. Мартинюк – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відділу сівозмін і землеробства на меліорованих землях ННЦ «ІЗ НААН»

3-36 Застосування ресурсо- та енергозберігаючих інноваційних технологій обробітку ґрунту в умовах Лісостепу: наук.-практ. реком. / М. М. Пташнік, Ф. Й. Брухаль, Ю. О. Ременюк, Л. М. Красюк, П. С. Заяць, Н. Є. Борис, О. В. Дикун, О. В. Гордієнко. – Вінниця : ТВОРИ, 2025. – 48 с.

ISBN 978-617-8835-77-4

Рекомендації розроблені на основі узагальнення результатів короткотермінового прикладного дослідження, проведеного у виробничому досліді на чорноземі типовому середньосуглинковому (с. Селище, Бориспільський р-н, Київська обл.) та узагальнених даних отриманих у довгострокових стаціонарних дослідів ННЦ «ІЗ НААН».

У рекомендаціях окреслено шляхи оптимізації ґрунтових умов росту і розвитку польових культур сучасними інноваційними системами обробітку ґрунту відповідно до світових тенденцій їх вдосконалення та природних, агрогенних і соціально-економічних умов землеробства Лісостепу.

Науково-практичні рекомендації з застосування інноваційних систем обробітку ґрунту призначені для керівників і фахівців галузі сільського господарства, науковців, викладачів вузів, аспірантів та студентів.

УДК 631.51:552.554:631.445.4

ISBN 978-617-8835-77-4

© ННЦ «ІЗ НААН», 2025
© ТОВ «ТВОРИ», 2025

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	4
1	МЕТОДОЛОГІЯ ТА АЛГОРИТМ СИСТЕМНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБІТКУ ГРУНТУ.....	7
2	СУЧАСНІ СИСТЕМИ (ТЕХНОЛОГІЇ) ГРУНТООБРОБІТКУ.....	16
3	ПЕРЕДУМОВИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ «ПРЯМОЇ СІВБИ» (<i>«no-tillage seeding»</i>).....	21
4	ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБІТКУ ГРУНТУ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ.....	27
	ВИСНОВКИ.....	41
	Список літератури.....	44

ВСТУП

Стрімкий агротехнологічний прогрес, що активізувався у другій половині XX ст., дотепер супроводжується експоненційним зростанням обсягів даних і знань про функціонування агроєкосистем та системну неоднорідність агропромислового виробництва на локальному, регіональному й глобальному рівнях. У цьому контексті особливої уваги заслуговують аналітичні огляди, які здійснюють критичне переосмислення історичної еволюції землеробства та окреслюють перспективи розвитку агросфери з позицій сталості, ресурсоефективності й екологічної збалансованості.

У найближчій перспективі обробіток ґрунту залишатиметься важливим, хоча й трансформованим, елементом технологій землеробства – від аматорських і екстенсивних до інтенсивних та перехідних систем, включно з моделями природоошадного точного землеробства. Впровадження високоточного позиціонування (DGPS/RTK), бортових обчислювальних систем, сенсорних платформ і автономної робототехніки (інтелектуальних машин) зумовлює переорієнтацію механічного ґрунтообробітку на адаптивні, даноорієнтовані рішення, що враховують просторову мінливість ґрунтово-кліматичних і антропогенних чинників. Сучасні системи обробітку еволюціонують у напрямі диференціації та мінімізації впливу на ґрунт (за глибиною, способом, строками, періодичністю), підвищення функціональності агрегатів і зменшення енергетичних та екологічних витрат за збереження або підвищення продуктивності.

Очікуваною тенденцією є перехід від традиційних багатоопераційних технологічних схем (5–20 проходів) до інтегрованих рішень із мінімальною кількістю проходів. Їх реалізація передбачає використання модульних комбінованих агрегатів, здатних у межах одного технологічного циклу виконувати кілька операцій – підготовку посівного ложа, локалізоване внесення добрив і засобів захисту рослин, сівбу, прикочування (ущільнення у

зоні насіння) та мульчування поверхні поля. Такий підхід узгоджується з концепцією точного землеробства й спрямований на підвищення технологічності процесів, оптимізацію використання ресурсів і покращення агроекологічних показників функціонування агросистем.

З огляду на глобалізацію кліматичних, екологічних, соціально-економічних і демографічних викликів, сучасні системи та технології ґрунтозахисного обробітку в умовах стабілізації землекористування й переходу до відновлювального землеробства спрямовані на розв'язання комплексу взаємопов'язаних теоретичних і прикладних завдань:

- забезпечення раціонального використання, збереження та розширеного відтворення родючості ґрунтів;
- послідовне зниження матеріально-енергетичних витрат у розрахунку на одиницю вирощеної рослинницької продукції;
- максимізацію накопичення та збереження продуктивної ґрунтової вологи;
- запобігання деградаційним процесам в агроландшафтах (ерозії, переущільненню, опустелюванню, підкисленню, розвитку фітопатогенних рецидивів тощо);
- підвищення ефективності використання побічної продукції рослинництва як джерела органічної речовини й елементів живлення;
- формування агробіологічно та економічно обґрунтованого зростання врожайності культур і конкурентоспроможності рільництва загалом.

У міжнародному дискурсі найбільшого поширення набули близькі за змістом концепції природоохоронного, ґрунтозахисного, ресурсощадного, екологічно збалансованого та сталого землеробства, які експерти ФАО асоціюють з універсальною дефініцією Conservation agriculture (CA). Система поєднує три базові складові: мінімізований обробіток (*mini-tillage, strip-tillage, ridge-tillage, no-tillage*), диверсифіковані сівозміни (покривні культури) і обов'язкове, максимальне (50–80 %) цілорічне покриття ґрунтової поверхні

рослинною мульчею для економного водоспоживання та синтезу органічного вуглецю.

Галузеві фахівці прогнозують, що в Україні, ймовірно, домінуватиме диференційований (комбінований) різноглибинний обробіток у межах сівозмін (6–45 см) із гнучким поєднанням наявних знарядь і технологічних прийомів (плуги, чизелі, важкі культиватори, дискові агрегати, комбіновані комплекси тощо). Такий підхід дає змогу адаптувати інтенсивність і глибину проведення обробітку до ґрунтово-кліматичних умов, рівня ущільнення, засміченості та структури посівів, забезпечуючи стійку продуктивність агроценозів за одночасного скорочення зайвих проходів, зниження витрат пального й часу та зменшення агрогенного навантаження на ґрунт. У довгостроковому вимірі це може мати позитивний ефект для екологічного стану агроландшафтів і підвищувати стабільність розвитку вітчизняного рільництва.

З огляду на значну природну й агрогенну різноманітність умов Лісостепу України, незавершені трансформації агропромислового комплексу та неоднорідність ресурсного забезпечення господарств, доцільно розглядати впровадження інноваційних, ґрунтозахисних технологій як системний адаптивний процес, а не як одноразову заміну знаряддя. У цьому зв'язку доцільним є подання концептуальних узагальнених алгоритмів, які відображають сутність і практичні особливості запровадження адаптивного обробітку сучасними агрегатами та їхніми комплексами – із прив'язкою до агрофізичного стану ґрунту, культури в сівозміні, рівня удобрення, забезпечення вологою та технологічних можливостей агропідприємств.

1. МЕТОДОЛОГІЯ ТА АЛГОРИТМ СИСТЕМНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Обробіток ґрунту є керованою результуючою складних взаємодій у системі ґрунт – людина – рослина – машина. Кожну її складову вербально наповнюють агроґрунтознавці, агрономи-технологи, біологи, фізіологи та інженери-конструктори сільськогосподарського профілю. В ідеалі стосунки між ними мають бути злагодженими: спільна проблема – креативне технологічне рішення. Тобто, команда вчених мусить працювати в унісон, починаючи з конкретизації агробіологічних вимог, технічних регламентів і завершити проєкт конструюванням, виготовленням та комплектацією наприклад нового ґрунтообробного знаряддя заданої функціональності і призначення. В дійсності агротехнологічне оновлення модерують переважно інженери-аграрії, причому за відомчим технічним завданням. Агрономічна наука постає посередником удосконалення і нерідко штучного вписування «сирого продукту» в існуючу агротехнологію.

Для зближення позицій у науковому середовищі пропонується (В. В. Медведєв, Т. М. Лактіонова, 2007) здійснити поряд із класичним ґрунтово-кліматичним, районування ґрунтово-технологічних умов за фізико-механічними та реологічними властивостями, які визначають міцність, липкість і якість кришіння ґрунту (гранулометричний, макроагрегатний стан, щільність складення, питомий опір, вологість при обробітку). На окремих картах ґрунтів України і супровідних таблицях фактичних параметрів властивостей їх поділено на п'ять класів: сприятливі, середні, середньоважкі, важкі та надважкі умови для обробітку. Зведене узагальнення свідчить, що оптимальні умови для якісного кришіння ґрунту створюються лише на обмеженій території (2,6 млн га) – на чорноземах типових та опідзолених легко- і середньосуглинкового складу Центрального та Лівобережного Лісостепу.

Експериментально встановлено, що загроза агрогенного переуцільнення незначна на легких ґрунтах із високою рівноважною щільністю і недостатньою вологістю. Натомість, збільшення вмісту дрібнодисперсних фракцій, підвищена вологість і помірно рівноважна щільність істотно посилюють небезпеку машинного переуцільнення суглинкових і, особливо, легкоглинистих відмін чорноземів.

Найбільша вірогідність розпилення ґрунту (фракція $< 0,25$ мм) в процесі обробітку існує на малоструктурних крупнопиловатих, слабогумусованих ґрунтах з ознаками солонцюватості, а також за недостатнього зволоження. Як правило, це едатопи з довготривалим застосуванням інтенсивного обробітку. Їхня площа перевищує 10 млн га.

Взаємодія робочого органу знаряддя з ґрунтом спричиняє абразію (спрацювання) пропорційно вмісту гранулометричних фракцій $> 0,25$ мм (пісок, крупний пил) та присутності гравію. Навпаки, менше спрацювання металу відбувається за обробітків у стані фізичної стиглості, коли волога виконує функцію «мастила». Процеси абразії в Лісостепу, переважно, маловиражені завдяки сприятливому поєднанню низького вмісту неагрегованих часток піску ($< 15\%$), помірного питомого опору ($0,46\text{--}0,55$ кг/см²) і щільності (до $1,3$ г/см³) та вологості фізичної стиглості ($0,7\text{--}0,8$ НВ, $17\text{--}22\%$). Площа таких ґрунтових відмін у зоні понад 8,5 млн га.

В Україні сформувалися і поширюються зональні диференційовані (комбіновані, адаптивні) системи обробітку ґрунту. За своєю сутністю та функціональністю – це своєрідні технологічні «гібриди» полицевих, безполіцевих заходів та елементів сучасної *no-till*-технології. Останні, здебільшого представлені посівними комплексами, які у підсумку визначають ефективність «нульового» обробітку. Наявність у агроформуваннях сівалок «прямой сівби» об'єктивно змінює традиційні системи ґрунтообробітку з усталеним арсеналом технічних засобів. Реалізується потреба вилучення (скорочення) низки агрозаходів: післязбирального луцення, ранньовесняного, передпосівного та післяпосівного обробітків. Зменшується кількість

послідовних дискувань у системах безполицевого, зокрема мілкового обробітку ґрунту.

Світовий та вітчизняний тренди вдосконалення заходів, систем, технологій ґрунтообробітку одновекторні – мінімізація, хоча й різноякісні через об’єктивні та суб’єктивні причини. Теоретичні основи мінімізації давно обґрунтовані: окультуреність потужного орного шару, рівновеликі параметри рівноважної та оптимальної для рослин щільності ґрунту, особливо на стадії формування кореневих систем. Тестовими є також пофазові зміни (дрейф) щільності ґрунту, швидкість набуття рівноважного стану та ступінь профільної диференціації в посівному, орному та підорному шарах. Будь-яке зменшення інтенсивності механічного обробітку з надлишком компенсують хімічними засобами (добрива, пестициди і т. д.).

За вирощування сільськогосподарських культур межа припустимого рівня ущільнення шару ґрунту, що обробляється, становить на Поліссі – 1,71, Лісостепу – 1,25–1,30 і в Степу – 1,4–1,45 г/см³. Параметри оптимальної щільності в розрізі культур різняться на 0,1–0,3 г/см³ (1,1–1,4 г/см³), причому, зернові агроценози позитивно сприймають підвищене ущільнення ґрунту, а просапні культури – навпаки, реагують негативно, до того ж останні, надзвичайно вибагливі до щільності ґрунту в зоні рядка і майже не реагують на зміни цього показнику у зоні міжрядь (реальна передумова застосування мінімального догляду).

Кожний захід механічного обробітку супроводжується різноякісним кришінням ґрунту залежно від конструктивних особливостей робочих органів, вологості під час проведення операції, але головна причина неоднакового подрібнення генетична: широка амплітуда вмісту тонкодисперсних органічних і мінеральних речовин та полівалентних катіонів. Ці чинники пояснюють причину різної структурованості орних ґрунтів. На жаль, чинні агропоміги повністю ігнорують регіональні відмінності щодо кришіння. Наприклад, оранка номінується найвищим балом за площі брил понад 4–6 см ≤ 10 %. За проведення культивування, допускається 5 шт/м² грудок і, як виняток,

після боронування брилистість є неприпустимою (Методика..., 1968; Д. Г. Саакян, 1973; П. М. Заїка, 2001).

З позицій фізики ґрунтів агрономічно цінними є лише структурні окремоті 0,25–10,0 мм, тобто спрощене оцінювання якості неприйнятне, особливо коли йдеться про передпосівний обробіток ґрунту. Запропоновано доповнити перелік агровимог (В. В. Медведєв, Т. М. Лактіонова, 2007) регіональним показником кришіння з градацією агрономічно цінного розміру агрегатів, адекватно рівню зволоження: чим посушливіших умови, тим меншим буде розмір агрегатів (інтенсивне кришіння, але без розпушення) у посівному шарі, або принаймні на поверхні прилеглої до насіння зони оптимальне співвідношення розмірів агрегатів і насіння 1–3:1. Зусилля, яке робочий орган ґрунтообробного знаряддя чинить на ґрунт, не повинно перевищувати сумарного опору зсуву, внутрішнього тертя і зв'язності агрегату агрономічно корисного розміру (2,5–8,0 кг/см²). Цього можна досягти за обробітку при вологості фізичної стиглості помірно активними робочими органами, наприклад клином з однією робочою поверхнею і невеликим кутом атаки.

Згубні наслідки дії на ґрунт масивних МТА транспортних засобів змусили ввести жорсткі обмеження питомого опору ходових систем, які узагальнено передбачають такі агровимоги: за проведення основного обробітку ґрунту, збирання врожаю та інших робіт з використанням потужної техніки, зона ущільнення не повинна проникати глибше шару, що обробляється. До початку сівби щільність ґрунту має відповідати нормативному для даної культури рівню. Заборонені будь-які польові роботи, що призводять до руйнації агрегатів (обробіток перезволоженого чи надмірно ущільненого ґрунту).

Встановлено, що на чорноземах типових, звичайних, опідзолених та лучно-чорноземних відмінах (вміст гумусу 4,5–5,5 %) допускається мінімальне ущільнення 1,15–1,25 г/см³, тобто обережного використання МТА. На темно-сірих, сірих, каштанових ґрунтах (вміст гумусу 3,5–4,5 %)

припустиме машинне ущільнення 1,29–1,42 г/см³. Легкосуглинкові ясно-сірі й дерново-підзолисті ґрунти (вміст гумусу 2,–3,5 %) припустимо ущільнювати в межах 1,17–1,52 г/см³.

Найвищий пошуковий параметр 1,58–1,71 г/см³ властивий супіщаним і глинисто-піщаним дерново-підзолистим ґрунтам як генетично стійкішим до переущільнення. Однак за порушення експлуатаційних регламентів можемо отримати протилежне – надмірне переущільнення технікою, оскільки гумусовий горизонт не значний (16–22 см). Розрахунковим шляхом отримано величини середнього питомого тиску ходових систем мобільної техніки залежно від типу, гранулометричного складу, щільності та вологості ґрунтів, сезону проведення робіт тощо, які відображені в офіційному ДСТУ, який охоплює досить широкий діапазон параметрів: навесні 20–160 кПа, влітку і восени 40–210 кПа. У випадках технічно неможливого дотримання нормативного тиску, зокрема колісними тракторами, вдаються до здвоєння і навіть потроєння шин на одній осі.

Розглянута фактографія розширює сутність і підтверджує необхідність ґрунтового перехідного періоду для вирішення непростих проблем мінімізації обробітку, особливо у новітньому форматі «прямої сівби».

Свого часу ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» (2007) подав таку гіпотетичну структуру поширення різних систем ґрунтообробітку в Україні: «0-обробіток» – 5,6 млн га (18,3 %); мінімальний – 13 млн га (43,4 %); зональні технології з максимальною мінімізацією – 4,2 млн га (14,1 %); зональні технології з елементами мінімізації – 0,4 млн га (1,3 %); традиційні зональні технології – 6,4 млн га (21,4 %). Однак, прогнозування лише за ґрунтово-технологічними показниками неповне та не суб'єктивне, тому і зазнало фіаско. Більше того, розгорнута агротехнологічна статистика в країні відсутня: все покладено на інтуїцію численних кабінетних експертів, у яких часто багата уява, а цілісного розуміння проблеми бракує.

Технології малоінтенсивного ґрунтообробітку поряд із господарськими запитами (підвищення продуктивності, економія викопних ресурсів, здешевлення та конкурентоспроможність рослинництва) спрямовані на екологізацію агросектору економіки країни (запобігання деградації ґрунтів, забруднення токсичними речовинами довкілля, керування водного режиму в умовах потепління клімату).

На часі поширення у виробництві таких технологій обробітку:

- ✓ *Mini-tillage* (10–12 см) щорічно та в диференційованих системах з різними заходами під окремі культури сівозміни за використання наявних ґрунтообробних знарядь (чизелі-глибокорозпушувачі, важкі культиватори, дискатори та ін.). періодичність проведення (3–5 років) глибокого безполицевого, рідше полицевого обробітку визначається фітосанітарним станом, системою удобрення, біологічними особливостями культур, потребою розуцільнення активного кореневмісного шару тощо. Для територій із проявами аридизації доречні системи різноглибинного чизельного розпушування для максимальної акумуляції атмосферних опадів, збереження та економного витрачання вологи рослинами та підвищення протирозійної стійкості ґрунту завдяки формуванню захисного ґрунтово-рослинного прошарку на його поверхні.
- ✓ Поетапне запровадження *no-tillage* різних модифікацій, в яких борозенковий обробіток ґрунту здійснюють одночасно із сівою та внесенням добрив (гербіцидів) спеціальними сівалками оригінальної конструкції, а на поверхні поля неодмінно формується достатньо потужний шар рослинної мульчі. Подібна інновація супроводжується істотними змінами, відмовою від низки усталених заходів у ланках основного, передпосівного обробітків, догляду за посівами завдяки проведенню єдиної технологічної операції – локального (іноді суцільного) обробітку попередньо необробленої ділянки, поєднаної з висіванням насіння рядковим удобренням та коткуванням.

- ✓ *Strip-tillage* або технологія смужкового (локального) обробітку є окремим напрямом «*no-tillage*» за вирощування просапних (широкорядних) культур. У зоні майбутнього рядка якісно розпушується вузька (15–30 см) смужка ґрунту до глибини 30–35 см і одночасно вноситься задана доза добрив. У досконаліших комплексах можливе удобрення одночасно із сівбою. Перевага такої агротехнології – обмежена (1–2) кількість операцій у циклі підготовка ґрунту – сівба, зменшення до 50–70 % витрат паливно-мастильних матеріалів і до 30 % добрив.

Недолік *strip-till* – потреба у новітньому обладнанні для навігації та точного землеробства. Варто зауважити, що контролювання шкідливої дії бур'янів в агроценозах гербіцидами за різних моделей *no-till*-технологій може призвести до екологічних негараздів. Зокрема небезпечними стануть резистентні (стійкі) до найпоширеніших гербіцидів популяції сеgetальних видів.

- ✓ Оптимізація ланок до- і післяпосівного обробітків також є знаковою для повноцінного оновлення адаптивних систем ґрунтообробітку. Усталені агрозаходи поступового замінюються сучасними посівними комплексами. Завдяки високій продуктивності, технічній надійності, якісних показниках сівби їх застосовують не лише за прямим призначенням – в *no-till*-технологіях, але й після звичайної оранки та безполицевого розпушування. Підготовку оригінального посівного ложе, висів, розподіл, загортання насіння, рядкове коткування, вирівнювання (та мульчування) поверхні поля здійснює конструктивно складний багатофункціональний сошниковий модуль. Тобто, класичний передпосівний обробіток непотрібний. Більше того, суміщення в одному агрегаті декількох технологічних операцій не лише скорочує терміни проведення польових робіт, але й істотно зменшує (20–30 л/га) витрати паливно-мастильних матеріалів.

Поряд з ґрунтово-кліматичними, агробіологічними, технологічними, економічними факторами зональний вектор розвитку технологій ґрунтообробітку значною мірою визначатиме демографічна складова –

щільність сільського населення і відповідно землезабезпеченість. Звідси, за високого економічного внеску парцелярного агросектору збільшуватиметься вирощування працемістких культур із використанням традиційних технологій. На малозаселених територіях, де господарюють крупніші агроформування, переважатимуть сучасні системи землеробства з адекватним ресурсним, технологічним та інформаційним забезпеченням.

Зона Лісостепу залишається своєрідною «базою» різновидів комбінованого (адаптивного) безполицевого та полицевого обробітків, причому останній набуває актуальності в спрощених короткоротаційних сівозмінах, насичених зерновими колосовими культурами. Тенденції погіршення фітосанітарного статусу ґрунту та агроценозів свідчать про доцільність частішого застосування оранки, особливо за органічного землеробства.

Заходи і технології плоскорізного розпушування ґрунту запозичені з Канади та Казахстану відходять у минуле, оскільки знаряддя основного обробітку із занадто широким (90–150 см) робочими органами за високого питомого опору ґрунтів Лісостепу потребували більших енерговитрат додаткових операцій для кришіння брил, загортання добрив, передусім органічних та приведення поля до посівної готовності. Відбувається об'єктивне заміщення громіздких плоскорізів на прогресивні типи важких культиваторів і чизелів-глибокорозпушувачів.

У поясі бурякосіяння досить ефективним є поєднання мілкого дискування (10–12 см) у вересні-жовтні вслід за внесенням основної дози добрив та пізньоосіннього глибокого (до 40–45 см) чизелювання, яке можна проводити аж до дати стійкого промерзання поверхневого шару ґрунту.

На окультурених (чистих) полях можливе зменшення глибини оранки до 14–16 см і навіть використання дискатора на третині площ, відведених спочатку під плужний обробіток.

Запровадження модифікованих та сучасних систем ґрунтообробітку залежить від площі сільськогосподарських угідь в господарствах і, особливо,

від їхнього матеріально-технічного забезпечення, яке кореспондується з розміром щорічних інвестицій. Зважаючи на це, новітні агротехнології з максимальною мінімізацією обробітку та наповнення інструментарієм «розумного» землеробства швидше поширюватимуться в агроформуваннях, які мають понад 5 тис. га ріллі. Ще конструктивніше цей напрям опановують інтернаціональні вітчизняні агрохолдинги. Дрібніші товаровиробники (до 3 тис. га) осучаснюють технічні засоби періодично (поштучно), хоча резервним «виходом» може бути кооперація у придбанні та спільному використанні сучасних ґрунтообробних, посівних та збиральних комплексів.

Тому, відсутність всебічного наукового обґрунтування, превалювання дрібнотоварного агровиробництва отримують втілення суспільного запиту на оновлення заходів, технологій і зрештою, зональних систем землеробства. Найбільш реалістичним сценарій розвитку ситуації – це еволюційна заміна умовно «старої техніки» на сучасну. Повноцінне впровадження новітніх агротехнологічних рішень і надалі залишатиметься вибором, подвижництвом і навіть «лотереєю» економічно самодостатніх агроформувань. Це відбуватиметься спорадично, повільно, нерівномірно на кшталт просторово-часової мозаїки. Логіка поміркованого оптимізму тут зрозуміла. Зиск відтермінований, ціна «помилки» висока і головне – наслідки непередбачувані.

2. СУЧАСНІ СИСТЕМИ (ТЕХНОЛОГІЇ) ҐРУНТООБРОБІТКУ

Умовна історична модель розвитку обробітку ґрунту асоціюється з кривою «розгортання–згортання» або «ускладнення–спрощення» її переломних поступально-зворотних відтінків: 1) примітивна (ямково-ступенева) сівба; 2) мотижний обробіток; 3) плужний обробіток; 4) інтенсивний обробіток (пікова стадія); 5) безполицевий обробіток; 6) адаптивний (диференційований) обробіток; 7) мінімальний обробіток; 8) *no-tillage* («пряма сівба») – повернення ніби у вихідну точку, але на незрівнянно вищому технологічному рівні, адекватно спіралі цивілізаційного поступу. Проблема раціонального обробітку ґрунту одвічна через складність і контраверсійність функцій та ефектів. Це підтверджується сучасним парадоксом – співіснуванням 2–7 типів ранжованих обробітків. Невизначеність ситуації поглиблює довільне, суб'єктивне, а нерідко – некоректне тлумачення спеціальної англомовної термінології.

Подаємо оригінальні (С. J. Baker, К. E. Saxton, 2007) визначення основних понять та їхні українські відповідники:

- ✓ «*no-tillage*», «*direct drilling*» і нова версія США «*direct seeding*» – дефініції безпосереднього висівання насіння в попередньо необроблений ґрунт, тобто «пряма сівба» або «безпосередня сівба».
- ✓ «*conservation tillage*» – узгоджене міжнародне формування термінів «прямой сівби», мінімального і/чи гребеневого обробітків, щоби підкреслити їхню природо- та ресурсощадну функцію. В категорію ґрунтозахисних потрапляє обробіток (технологія), яка залишає після сівби не менше 30 % проєктивного покриття ґрунту рослинними рештками. Критеріальними ознаками наряду є також заощадження коштів, праці, часу, енергії, а також поліпшення фізичного, хімічного і біологічного статусу ґрунту.

- ✓ «*minimum tillage*», «*mini-tillage*, *reduce tillage*» – охоплює практику зменшення інтенсивності основного обробітку відповідно до потреб культури за надійного контролювання бур'янів і поживного режиму. Сучасні моделі мінімізації стосуються всіх ланок системи ґрунтообробітку з акцентом на обов'язкове мульчування поверхні поля післязбиральними рештками.
- ✓ «*ridge tillage*» – технології формування гребенів на попередньо оброблених фонах для майбутньої сівби широкорядних просапних культур. Такі гребені можливо використовувати впродовж декількох років під прийнятні культури без додаткового розпушування мезопідвищень або ж формувати їх щороку.
- ✓ «*sod-seeding*», «*undersowind*», «*oversowing*», «*overdrilling*», «*underdrilling*» – відображає специфіку *no-tillage* за перезалуження пасовищ (підсівання трав у дернину). Зауважимо, що термін «*oversowing*» не передбачає сівби а лише поверхневий розподіл насіння (врозкид).
- ✓ «*strip tillage*» чи «*zone tillage*» – обробіток вузької смужки ґрунту (15–20 × 25–35 см) окремо чи за допомогою спеціальних сошників сівалки, здебільшого просапної культури. Решта міжряддя залишається необробленим. Термін «смуговий» також використовують у випадку несучільного контурного протиерозійного зяблевого обробітку схилових земель (ширина такого захисного бар'єра 100 м і більше).
- ✓ «*sustainable farming*» чи «*sustainable agriculture*» – це кінцевий результат довготривалого застосування технологій *no-tillage*, як найбільш конструктивних напрямів стабілізації та сталості землеробства за більшості агротехнологічних умов. Сутність відновлювального землеробства потребує інтерпретації як на регіональному, так і локальному рівнях. У широкому розумінні (El. Swaitly, 1999) стратегія запланованого землеробства ґрунтується на раціональному управлінні

та збереженні всіх агресурсів, забезпеченні продовольчої, економічної, екологічної безпеки і зрештою, – якості життя.

- ✓ «*precise agriculture*», «*accuracy agriculture*», «*smart agriculture*» – точне, «розумне» землеробство як інноваційна модель конкурентоспроможного природоохоронного «*conservation agriculture*» з використанням геоінформаційних систем мобільного електронного режиму керування технічними засобами диференційованого обробітку, дозування добрив і пестицидів з урахуванням неоднорідної родючості ґрунту.

Харківські дослідники (В. Медведєв, І. Пліско, С. Накісько, 2017) пропонують зосередитись у зонах Лісостепу і Полісся саме на першій складовій прогресивної системи агровиробництва – точному обробітку на площах, де він занадто інтенсивний чи глибокий. Для цього необхідні: повноцінна дрібноконтурна база ґрунтової фактографії, програмно-системне забезпечення трактора і комбайну, кваліфіковані агротехнологи та оператори, 50–100 тис. дол. США на площу 500–600 га. За розрахункового приросту 0,5 т/га врожайності зернових розробка окупиться впродовж 1–2 років. Як наукове передбачення викладене сприймається, а щодо практичної реалізації задуму – проблематично і вочевидь, передчасно з огляду на реалії АПК країни.

ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» орієнтує на таку власну структуру зональних технологій ґрунтообробітку з відповідним шлейфом технічних засобів: традиційна з обертанням скиби; мінімальна; консервуюча; смугова; органічне землеробство з елементами традиційної мінімальної та консервуючої.

Викладачі Харківського НТУ сільського господарства ім. Петра Василенка (Д. І. Мазоренко, В. І. Пастухов, В. М. Бакум, А. Д. Михайлов та ін., 2012) виділяють чотири системи основного обробітку ґрунту: а) традиційна (на основі оранки); б) консервуюча (мульчування поверхні + безполіцеве розпушування на 25–40 см; в) мульчувальна (мілкий на 10–12 см обробіток з мульчуванням); г) *no-till* (сівба зі збереженням рослинних решток

на поверхні ґрунту). З урахуванням ґрунтових умов, сівозміни і технічного забезпечення господарств кожна із зазначених технологічних схем може замінювати відповідно 8–48 %; 12–26; 17–45 і 10–35 % посівної площі країни. Натомість, прогностична структура розподілу цих систем обробітку ґрунту до 2020 р. за оригінальними даними співробітників УкрНДІПВТ (Л. Сухомлин, В. Кравчук, В. Погорілий, В. Погоріла та ін., 2014) відрізняються: традиційна – 38 %, консервуюча – 26 %, мульчувальна – 26 %, mini-tillage – 10 %. Більше того, кожний варіант обробітку у п'ятипільній зерновій сівозміні горох – пшениця озима – ячмінь ярий – гречка – соя включав характерну для неї технологічну операцію у такій послідовності: оранка, чизельне розпушування, мілкий і нарешті поверхневий обробіток із хімічним знешкодженням бур'янів. Середня за ротацію врожайність зернових на фоні оранки та чизелювання була однаковою (3,62–3,57 т/га), тоді як у варіантах з мілким і поверхневим обробітками знижувалася на 5,9–7,0 %. При цьому зростаюча мінімізація забезпечувала менші витрати палива: від 47,6 л/га на контролі до 45,3, 37,1 та 29,2 л/га, або на 5, 22 і 39 % відповідно. Відбулось також зменшення працємісткості технологій від 2,4 до 1,6–1,9 люд-год/га (21–33 %) і що дуже важливо – капіталовкладень завдяки зменшенню кількості задіяних машин від 33 до 1–2 найменувань (В. Ковальчук, М. Новохацький, В. Гусар, 2019). Це процес дефрагментації – прив'язки науково-технічних рішень до виробничих умов. На нашу думку, перехідну стадію модернізації точніше відображає принцип «спорідненої» функціональності, зокрема ґрунтообробної техніки, коли через об'єктивні причини фермер змушений використовувати мінімальний типаж знарядь (дискатори, чизельні культиватори, комбіновані агрегати та ін.).

Відділ обробітку ґрунту і боротьби з бур'янами впродовж 50-ти років вивчає проблеми раціонального ґрунтообробітку в типових сівозмінах Лісостепу шляхом проведення стаціонарних польових досліджень і послідовно реалізує стратегію виваженого диференційованого застосування

заходів, систем, технологій обробітку в руслі світових трендів (мінімізація, екобезпека, ресурсоощадність, конкурентоспроможність).

Науково-дослідний проєкт 2016–2020 рр. спрямований на критеріальне оцінювання ефективності п'яти альтернативних систем обробітку сірого лісового ґрунту (полицева, 10–30 см; плоскорізна, 10–30 см; адаптивна, 10–45 см; мілка, 10–12 см; поверхнева, 6–8 см) на трьох фонах удобрення культур зернової сівозміни: пшениця озима, кукурудза на зерно, ячмінь ярий та соя. Сумарно 60 моделей агротехнологій. Середня продуктивність сівозміни в досліді 3,98 т/га з максимумом 5,72 т/га з. од. у варіанті комбінованого різноглибинного обробітку та збалансованої органо-мінеральної системи удобрення (6,5–7,5 т/га побічної продукції + $N_{70}P_{58}K_{68}$): дискування (10–12 см) під пшеницю озиму, смугове чизелювання –40–45 см) під кукурудзу на зерно, дискування (8–10 см) під ячмінь ярий, оранка (20–22 см) під сою з інтегрованим контролюванням розвитку шкідливих організмів в агроценозах. Решта систем обробітку істотно поступалися кращій у межах 4,1–20,0 % пропорційно ступеню мінімізації. Підтверджено природоохоронний, технологіко-економічний та біоенергетичний зиск застосування адаптивних обробітків у зональних сівозмінах за умови повноцінного матеріально-технологічного забезпечення.

Прогностично перспективними у Лісостепу будуть такі системи (технології) ґрунтообробітку, % посівної площі:

- ✓ Адаптивна (комбінована) – *adaptive tillage* – 37–46 %;
- ✓ Мінімальна – *mini-tillage* – 35–40 %;
- ✓ Ґрунтозахисна (мульчувальна, > 50 % покриття) – *conservation-tillage* – 10–12 %;
- ✓ Смужкова – *strip-tillage* – 6–8 %;
- ✓ Пряма сівба (покриття мульчею до 80 %) – *no-tillage*.

3 ПЕРЕДУМОВИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ «ПРЯМОЇ СІВБИ» («*no-tillage*»)

Технології «прямої сівби» – методологічний прорив у продовольчій безпеці людства за останні 100 років індустріалізованого землеробства. В його основі знакове відкриття англійської фірми ISI (60-ті роки минулого сторіччя) нової групи біпіридинових гербіцидів суцільної дії (Паракват, Дікват, Раундап). Сподвижники інновації (С. J. Baker, K. S. Saxop, 2007) впевнені, що наявні короткотермінові переваги й істотні недоліки (26 і 19 позицій відповідно) у майбутньому трансформуються і вперше в історії матимемо стаке виробництво рослинної продукції.

Позитивні наслідки (зиск) ґрунтозахисного обробітку такі: 1) поліпшиться економіка рослинництва; 2) підвищиться вміст органіки в ґрунті; 3) покращуватиметься якість (родючість) ґрунту; скоротяться витрати: 4) праці (до 60 %); 5) на придбання техніки (до 50 %); 6) на паливно-мастильні матеріали (у 2,2 раза) і зменшиться: 7) поверхневий стік (на 60–70 %); 8) змив ґрунту (на 80–90 %); 9) підвищиться вміст доступної вологи (до 25мм) та поживних речовин; 10) поліпшиться екологія навколишнього середовища.

Зарубіжні експерти вважають упередженими поширені твердження, що перехід до «*no-tillage*» ризикованіший, ніж за традиційного обробітку передусім в економічній площині. Водночас подають власні застереження біологічного, фізичного і хімічного характеру. *Біологічні ризики* стосуються шкідників, енергії проростання, життєздатності проростків, хвороб рослин та зменшення врожайності культур. *Фізичні ризики* зумовлені чутливістю до погодних умов, мікрокліматом у насіннєвій борозенці, підготовкою техніки та її надійністю. *Хімічні ризики* відносяться до забезпечення (внесення) та доступності елементів живлення, «згорання» насіння за контакту з добривами, а також ефективність застосування пестицидів.

Наголошено, що саме функціональність і конструктивні особливості сівалок «прямої сівби» зумовлюють більшість із названих негараздів. За правильного налаштування відповідного обладнання технологія *no-tillage* матиме не більше, а іноді менше загальних недоліків, ніж традиційний обробіток навіть за нетривалого застосування.

Головна причина фіаско «*no-tillage*» – це неправильне налаштування і невірний вибір технічних засобів. Економічні маніпуляції щодо менших витрат за «прямої сівби» пов'язані з ефективністю комплексу, тобто зекономлені на придбання кошти можуть бути значно меншими, ніж вартість фактичного недобору врожаю.

Запровадження систем «прямої сівби» напряду залежить від природних, а особливо соціально-економічних чинників. Насамперед їх поширюють країни з великими площами орних земель і малочисельним сільським населенням (країни Латинської Америки, Австралії, Нової Зеландії, США, Канади). На них припадає 95 % світового обсягу впровадження «*no-tillage*» технологій, який нині наближається до 160 млн га (11,4 % посівних площ) із щорічним приростом 1 млн/га.

Кожна країна має власні аргументи на підтримку нової технології. Для США – це підвищення продуктивності праці і протиерозійний захист ґрунтів. Канади та Австралії, де зосереджено виробництво зерна, причиною є збереження вологи. Для тропічної Бразилії найвагомішою є проблема збереження новоосвоєних земель.

На Європейському континенті «пряма сівба» впроваджується повільно (2,1 млн га, або 3 % загальної площі ріллі) і залежить від державних дотацій на компенсацію господарських ризиків фермерів. Збільшення обсягів новацій стримується невеликими фермерами з недостатнім капіталом для закупівлі дорогої техніки. Крім того, обмежувачим фактором виступає законодавство ЄС щодо неухильного зменшення обсягу застосування пестицидів і перевиробництво продукції рослинництва (С. П. Танчик, 2009; В. В. Медведєв, 2010, 2013). Попри це, регіональний лідер технологій «прямої

сівби» Велика Британія вбачає її перевагу у 4-разовому підвищенні продуктивності праці за вирощування озимих та ярих колосових культур.

Зауважимо, що на систему «*conservation agriculture*» і «*direct seading*» зокрема працюють промисловість, наука, маркетинг, реклама, консалтинг тощо. Широко використовуються генетично модифіковані сорти, стійкі до гербіцидів суцільної дії, що сприяє освоєнню «*no-tillage*».

За відсутності сприятливих соціально-економічних технічних підстав і зрештою, суб'єктивної – особистого уподобання та зацікавленості, зовнішнє втручання в активізацію процесу технологічного оновлення позбавлене сенсу. Прогресивні системи землеробства є наслідком еволюційного кількісно-якісного розвитку культури рільництва окремих країн. В жодному разі не можна перекладати надскладну проблему на ґрунтознавців, захоплених ідеєю чи то на «ретроградів», які всіляко гальмують інноваційні розробки. Пора нарешті відмовитися від стратегії «компанійщини» і тим більше примусового нав'язування дійсно креативного «агровинаходу» без ретельного дослідження, вибору ефективних моделей, починаючи з локального рівня.

В Україні розроблена нормативна інформація про потенційну придатність ґрунтів до застосування no-tillage-технологій за окремими фізичними показниками (табл. 1).

Таблиця 1. Оцінні нормативи придатності ґрунтів до «нульового» обробітку (за В. В. Медведєвим, 2015)

Фактори	Класи ґрунтів за придатністю			
	I, оптимальний	II, сприятливий	III, задовільний	IV, незадовільний
Гранулометричний склад	суглинок середній	суглинок легкий і середній	супіщаний легкосуглинистий	піщані, середня та важка глина
Щільність складення, г/см ³	1,1–1,3	< 1,1 1,3–1,4	1,4–1,5	>1,5
Вміст агрегатів, 10–0,25 мм, %	>70	60–70	60–50	<50

Запаси доступної вологи в шарі 0–20 см, мм	20–30	>30	10–20	<10
--	-------	-----	-------	-----

Потенційно придатними для «*no-tillage*» є майже 14,6 млн га ґрунтів, причому найкращі передумови складаються на середньосуглинкових чорноземах Лісостепу (2,5 млн га). Сприятливі умови характерні для ґрунтового покриття Північного Степу (12,2 млн га), але за високої культури землеробства, відсутності організаційно-господарських та фінансових застережень. Зовсім не придатні для «прямої сівби» легкі, перезволожені, солонцюваті, кам'яністі ґрунтові відміни (6,4 млн га). Проблемним буде нововведення в малоземельних господарствах (< 100 га) через фінансові труднощі та «провальну» ситуацію з деталізованим техніко-технологічним та інформаційно-дорадницьким супроводом проєкту.

Згідно з експертними прогнозами технології «*no-tillage*» у різних модифікаціях можливі на площі 1–4 млн га. Така розбіжність параметрів зумовлена об'єктивними причинами: різноякісна структура землекористування, забур'яненість, строкатість родючості і рельєфе полів і, головне – обмеженими можливостями агроформувань у придбанні вартісних технічних і хімічних засобів.

При розгляді питання «за» і «проти» технології «прямої сівби», варто враховувати верхню межу щільності (> 1,40–1,60 г/см³ залежно від культури), коли продуктивність агроценозів значно падає, тобто використовувати «*no-tillage*» не варто.

Існує ще низка перепон у ряді можливостей – доцільність – обсяги – темпи запровадження в країні систем «прямої сівби» (інтерпретація версій А. М. Малієнка, 2015):

1. Перехід до «*no-tillage*» – це не шлях подолання бідності, а її безвихідь;
2. АПК країни орієнтований на збільшення валових зборів зерна, тоді як нова технологія призводить майже до 10 % зменшення врожайності і для

виходу на попередній рівень в екваторіальній зоні необхідно 3–5 років. В Україні вочевидь більше;

3. Без державної дотації на придбання гербіцидів суцільної дії масштабне впровадження ресурсоощадного землеробства майже неможливе;

4. Оригінальні технічні засоби «*no-tillage*» надходять через імпортні закупки. На 10 тис. га потрібен 500-сильний трактор із комбінованим посівним комплексом (18–25 м), три-чотири зернові комбайни, обприскувач продуктивністю 1000 га за добу і 15 допоміжних працівників. Саме використання таких комплексів забезпечує ефективність технології. В Україні їх мають близько 100 агроформувань.

Експлуатація сучасної техніки потребує електронної карти поля, приладів DGPS навігації з механізмом управління і фірмового сервісного обслуговування.

Різка зміна агротехнологій, особливо в густозаселених районах призводить до безробіття, ліквідації галузі тваринництва і переходу на працюощадне рослинництво (у США та Канаді в крупних агрофінансових структурах задіяно лише до 10 % працездатного місцевого населення).

Тому, очікувані технологічні здобутки можуть обернутися негативними соціально-економічними наслідками, про які вітчизняні агрохолдинги зовсім не думають. Подібні проблеми можливі і у сільськогосподарському машинобудуванні, але «депресивними» стануть невеликі районні міста, бюджет яких залежить здебільшого від місцевої промисловості.

5. Незавершеність земельної реформи, відсутність сталої кон'юнктури ринку сільськогосподарської продукції дестабілізують землекористування. Погіршується культура землеробства, особливо у площині забор'яненості посівів, внесення добрив. Порушується методологія сівозмін через спонтанне збільшення площ так званих ліквідних культур (ріпаку, сої, соняшнику і кукурудзи), але водночас найбільш

енерговитратних. Це призводить до істотного подорожчання продовольчого кошика.

Системний аналіз всіх чинників, зокрема соціальних і демографічних переконливо свідчить, що в оглядовій перспективі технології «*no-tillage*» в Україні знайдуть поширення на площі 600–800 тис. га, максимум 1 млн га.

Ще довго у світі (під оранкою майже 45 % ріллі) та в Україні через поглиблення деструктивних природних і соціальних явищ будуть актуальними, традиційний, комбінований, поверхнево-мілкий обробітки і «*no-tillage*» система утримання ґрунту. Експлуатаційні витрати на обидві групи агротехнологій одномірні: 74–78 дол./га і 79–111 дол./га відповідно.

Після декількох років ажіотажу, розвиток мінімізованих природоохоронних систем «прямої сівби» входить у закономірне русло: проведення консолідованих сумісно з інженерами досліджень, апробація та поступове впровадження ефективних моделей на локальному та регіональному рівнях.

4 ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ

Дослідження щодо «Ефективності застосування інноваційних технологій обробітку ґрунту в умовах Лівобережного Лісостепу» проведено у виробничих посівах кукурудзи на зерно на чорноземі типовому середньосуглинковому (с. Селище, Бориспільський р-н, Київська обл.).

Ґрунт дослідного поля характеризується середнім вмістом гумусу – 2,79 %, низьким умістом гідролізованого азоту (за Корнфілдом) – 137,8 мг/кг ґрунту, високим рівнем забезпеченості (за Чириковим) рухомими сполуками фосфору (184 мг/кг) і дуже високими рухомого калію – 185 мг/кг ґрунту, середньокислою реакцією ґрунтового розчину (5,1), недостатнім насиченням ґрунтового комплексу основами (табл. 2).

Таблиця 2. Фізико-хімічна та агрохімічна характеристика чорнозему типового середньосуглинкового (2024 р.)

Агрохімічний показник	Метод визначення	Значення	Оцінка
pH _{KCl}	pH сольової витяжки	5,1	середньокислий
Сума увібраних основ (Ca+Mg) мг-екв/100г ґрунту	Каппена-Гі ^{льков} иця	14,07	
Гумус (органічна речовина), %	Тюріна	2,79	середній
Гідролізований азот (N), мг/кг	Корнфілда	138	низький
Рухомий Фосфор (P ₂ O ₅) мг/кг	Чирикова	184	високий
Рухомий Калій (K ₂ O) мг/кг	Чирикова	185	дуже високий
Еколого-агрохімічна оцінка, бал	46,4		

Досліджувалося 6 систем основного обробітку ґрунту:

1. Оранка на 30 см (контроль);
2. Глибоке рихлення;

3. *Mini-till* (раз на три роки проведення глибокого рихлення);
4. *Strip-till*-технологія;
5. *No-till*-технологія;
6. *Verti-till*-технологія.

Технологічні операції з основного обробітку ґрунту здійснюватимуться: оранка – Fendt 936 Vario + Lemken diamant (на 8 корпусів із захватом 3,5 м); *mini-till* – Fendt 936 Vario + диски Lemken Rubin (6м); чизельний обробіток у системі *mini-till* – Fendt 936 Vario + глибокорозпушувач Quivogne SSDR11; *strip-till* – Fendt 1162 Vario + культиватор для смугового обробітку Ortman; *no-till* – Fendt 936 Vario + 16-ти рядна сівалка точного висіву з електроприводом John Deere DB37; *verti-till* – Fendt 1162 Vario + KUHN Krause Exceleator XT 8010.

Система удобрення три блокова:

- 1) Без добрив;
- 2) Карбамід (46,2 %) – 100 кг/га у основне + рядкове (припосівне) внесення рідких комплексних добрив під час сівби – 40 л/га РДК 5:25:5 «Ярило»;
- 3) Карбамід (46,2 %) – 200 кг/га у основне + рядкове (припосівне) внесення рідких комплексних добрив під час сівби – 60 л/га РДК 5:25:5 «Ярило».

За результатами досліджень встановлено, що на час сівби кукурудзи найбільші запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту забезпечують технології консервативного обробітку з мінімальним порушенням ґрунту та збереженням рослинних решток на поверхні поля (табл. 3). Зокрема, за системи *no-till* запаси доступної вологи сягали 142,0 мм, за *verti-till* – 134,2 мм, а за *strip-till* – 129,7 мм. Високий рівень вологозабезпечення у цих варіантах є результатом поєднаної дії низки факторів, серед яких ключове значення має наявність мульчуючого шару рослинних решток, що залишається на поверхні поля після попередника.

Мульча, утворена подрібненими рослинними залишками, виконує кілька важливих функцій: вона знижує інтенсивність випаровування води з поверхневого шару ґрунту, перешкоджає утворенню ґрунтової кірки, зменшує

поверхневий стік та ерозійні процеси, а також підвищує інфільтраційну здатність ґрунту. Крім того, мульчувальний шар позитивно впливає на структуру орного горизонту, стабілізує температурний режим та сприяє розвитку мікробіоти, що опосередковано підвищує водоутримувальну здатність ґрунту.

Таблиця 3. Запаси продуктивної вологи в 0–100 см шарі ґрунту залежно від технології обробітку ґрунту, мм, 2024–2025 рр.

Система обробітку ґрунту в сівозміні	Шар ґрунту, см	Запаси продуктивної вологи, мм		
		станом на 24.12.2024	станом на 20.03.2025	станом на 10.06.2025
Оранка	0-10	20,16	14,6	5,92
	10-20	22,27	13,96	6,3
	20-30	21,21	15,65	8,82
	30-40	17,25	15,62	11,06
	40-50	17,68	14,55	10,36
	50-60	17,18	14,1	6,45
	60-80	16,8	24,67	17,52
	80-100	5,11	19,93	17,27
	Разом	139,6	133,08	83,7
Рихлення	0-10	23,57	8,95	6,36
	10-20	19,44	14,38	6,49
	20-30	18,35	13,62	12,87
	30-40	18,03	14,9	13,23
	40-50	21,42	14,49	12,77
	50-60	18,23	15,67	12,6
	60-80	34,88	32,77	26,2
	80-100	12,29	26,89	21,11
	Разом	166,21	141,67	111,63
No-till-технологія	0-10	22,26	8,95	10,42
	10-20	19,06	14,38	4,01
	20-30	18,08	13,62	10,08
	30-40	16,97	14,9	12,31
	40-50	18,68	14,49	10,3
	50-60	19,62	15,67	10,32
	60-80	28,14	32,77	25,68
	80-100	7,94	26,89	25,7
	Разом	150,75	141,67	108,82
Mini-till-технологія	0-10	20,02	13,12	1
	10-20	19,09	13,08	2,9
	20-30	17,74	14,14	5,3
	30-40	15,89	13,42	8,3

	40-50	15,13	13,15	1
	50-60	14,61	13,25	10,2
	60-80	5,46	22,94	18
	80-100	6,75	21,09	10
	Разом	114,69	124,19	56,7
<i>Verty-till-</i> технологія	0-10	20,49	13,17	8,83
	10-20	19,39	14,24	4,13
	20-30	19,89	14,06	10,98
	30-40	18,59	15,3	11,15
	40-50	16,76	14,86	11,16
	50-60	16,1	13,53	11,83
	60-80	26,84	24,38	22,75
	80-100	18,81	24,7	18,37
	Разом	156,87	134,24	99,2
<i>Strip-till-</i> технологія	0-10	22	11	6,36
	10-20	21,08	13,3	6,49
	20-30	21,69	14,33	12,87
	30-40	20,46	15,47	13,23
	40-50	20,23	13,66	12,77
	50-60	17,45	15,26	12,6
	60-80	26,89	27,09	26,2
	80-100	12,01	19,55	21,11
	Разом	161,81	129,66	111,63

Для порівняння, у варіантах із традиційними системами обробітку ґрунту запаси продуктивної вологи були нижчими. Так, за глибокого рихлення вони становили 141,7 мм, що є майже на рівні *no-till*-технології, оскільки такий спосіб обробітку покращує водопроникність та сприяє накопиченню вологи в глибших горизонтах. Оранка забезпечила 133,1 мм, що є посереднім показником: з одного боку, плуг забезпечує добрий обробіток, але повне заробляння рослинних решток і надмірне розпушення ґрунту сприяють швидшому висиханню верхнього шару. Найнижчі показники вологозапасів спостерігалися за застосування *mini-till* – 124,2 мм, що свідчить про недостатню здатність цієї системи утримувати вологу за умов часткового збереження рослинного покриву та недостатнього порушення ущільнених прошарків ґрунту.

Загалом, аналіз динаміки накопичення та збереження вологи в метровому шарі ґрунту засвідчив, що системи консервативного землеробства (особливо *no-till* та *verti-till*) виявляються більш ефективними в аспекті

вологозбереження порівняно з інтенсивними системами основного обробітку. Спільною рисою зазначених технологій є мінімальне порушення ґрунтового профілю та наявність постійного рослинного покриву, які в комплексі суттєво зменшують гідравлічні втрати.

Водночас найбільш сприятливі умови для акумуляції вологи атмосферних опадів у профілі ґрунту в осінньо-зимовий період формуються за умов глибокого рихлення. Ця технологія сприяє покращенню проникнення атмосферних опадів у глибші горизонти, зменшує ризики поверхневого стоку, сприяє аерації нижніх шарів і запобігає формуванню водонепроникних ущільнених горизонтів (плужної підшви). Таким чином, глибоке рихлення забезпечує ефективне зволоження ґрунту в осінній період і створює запас вологи на весну.

Загалом, аналіз динаміки накопичення та збереження вологи в метровому шарі ґрунту засвідчив, що системи консервативного землеробства (особливо *no-till* та *very-till*) виявляються більш ефективними в аспекті вологозбереження порівняно з інтенсивними системами основного обробітку. Спільною рисою зазначених технологій є мінімальне порушення ґрунтового профілю та наявність постійного рослинного покриву, які в комплексі суттєво зменшують втрати вологи внаслідок випаровування. Водночас найбільш сприятливі умови для акумуляції вологи атмосферних опадів у профілі ґрунту в осінньо-зимовий період формуються за умов глибокого рихлення. Ця технологія сприяє покращенню проникнення атмосферних опадів у глибші горизонти, зменшує ризики поверхневого стоку, сприяє аерації нижніх шарів і запобігає формуванню водонепроникних ущільнених горизонтів (плужної підшви). Тому, глибоке рихлення забезпечує ефективне зволоження ґрунту в осінній період і створює запас вологи на весну.

Підтверджено істотний вплив способів основного обробітку ґрунту на формування агрофізичного стану ґрунту поряд із зростанням ефективності щодо утримання продуктивної вологи. У цьому контексті особливу увагу заслуговують ресурсоощадні технології, зокрема *strip-till*, яка демонструє

збалансоване поєднання розпушування та збереження поверхневого покриття (табл. 4).

Таблиця 4. Зона ущільнення ґрунту залежно від обробітку ґрунту, 2025 р.

Система обробітку ґрунту	0-10 см	10-20см	20-30см	30-40см	40-50см
Оранка	слабо ущільнено	слабо ущільнено	слабо ущільнено	сильне ущільнення	середнє ущільнення
Рихлення	слабо ущільнено	слабо ущільнено	середнє ущільнення	слабо ущільнено	середнє ущільнення
<i>No-till</i>	середнє ущільнення	середнє ущільнення	середнє ущільнення	ущільнення	ущільнення
<i>Mini-till</i>	слабо ущільнено	ущільнення	ущільнення	сильне ущільнення	ущільнення
<i>Verti-till</i>	слабо ущільнено	середнє ущільнення	середнє ущільнення	сильне ущільнення	ущільнення
<i>Strip-till</i>	слабо ущільнено	слабо ущільнено	середнє ущільнення	середнє ущільнення	ущільнення

Технологія *strip-till*, незважаючи на наявне ущільнення у зоні міжрядь, забезпечує високу ефективність збереження рослинних решток на поверхні поля. Цей мульчувальний шар значно знижує інтенсивність випаровування вологи з верхніх горизонтів ґрунту, зменшує амплітуду добових коливань температури, пригнічує розвиток бур'янів і сприяє стабілізації структури орного шару. Щільність складення ґрунту при застосуванні *strip-till* у зонах обробітку є помірною (до 1,5 г/см³), що забезпечує оптимальний баланс між водопроникністю, аерацією та водоутримуючою здатністю. Це створює сприятливі умови для рівномірного проростання насіння та розвитку кореневої системи кукурудзи (табл. 5).

Таблиця 5. Щільність складення ґрунту в основні фази розвитку кукурудзи, 2025 р.

Система обробітку ґрунту в сівозміні	Шар ґрунту, см	Щільність складення ґрунту, г/см ³		
		сходи	цвітіння	повна стиглість
Оранка	0–10	1,1	1,3	1,5
	10–20	1,1	1,3	1,4
	20–30	1,2	1,5	1,5
Рихлення	0–10	1,0	1,3	1,4
	10–20	1,1	1,2	1,2
	20–30	1,0	1,2	1,2
<i>No-till</i>	0–10	1,5	1,5	1,5
	10–20	1,6	1,6	1,6
	20–30	1,4	1,4	1,4
<i>Mini-till</i>	0–10	1,2	1,3	1,4
	10–20	1,3	1,4	1,5
	20–30	1,4	1,5	1,5
<i>Verty-till</i>	0–10	1,1	1,2	1,3
	10–20	1,3	1,5	1,6
	20–30	1,3	1,3	1,4
<i>Strip-till</i>	0–10	1,2	1,3	1,4
	10–20	1,3	1,4	1,5
	20–30	1,4	1,5	1,5

У протилежність цьому, система *mini-till* характеризується низкою обмежень, які негативно позначаються на водному балансі. Надмірне ущільнення орного шару, особливо у відсутність глибокого розпушення, супроводжується підвищенням втрат вологи через випаровування. Причиною є недостатній мульчувальний ефект: рослинні рештки розподіляються нерівномірно, а часткове їх заробляння в ґрунт погіршує ізоляційні властивості поверхні поля. Зафіксована щільність складення ґрунту в глибших шарах за

mini-till перевищувала $1,5 \text{ г/см}^3$, що перевищує оптимальні агрофізичні параметри для більшості культур, зокрема кукурудзи.

Традиційна оранка, попри тимчасове покращення фізичних властивостей орного шару після обробітку, має низку негативних наслідків у довготривалій перспективі. Зокрема, було відзначено утворення плужної підшви — ущільненого шару на межі орного горизонту, який ускладнює вертикальну фільтрацію води та обмежує проникнення коренів у глибші горизонти. Така структура сприяє горизонтальному переміщенню вологи, що зменшує її доступність для рослин у фазах активної вегетації. Крім того, оранка повністю заробляє рослинні рештки, позбавляючи ґрунт захисного шару, що підвищує випаровування та сприяє деградації його структури. Щільність складення після оранки в середньому досягала $\geq 1,5 \text{ г/см}^3$ — граничного значення для структурно-стабільних ґрунтів.

У свою чергу, застосування глибокого рихлення сприяло формуванню найменших показників щільності складення ґрунту ($1,0\text{--}1,4 \text{ г/см}^3$), що є оптимальним для водного та повітряного режимів. Така система забезпечує ефективну інфільтрацію атмосферних опадів, покращує доступ кисню до кореневої системи, знижує ризик застою води та сприяє активному розвитку мікробіологічних процесів. Це особливо важливо для акумуляції вологи в осінньо-зимовий період, коли водопроникність ґрунту відіграє ключову роль у формуванні весняного запасу продуктивної вологи.

Технології *verty-till* і *mini-till* показали тенденцію до підвищення щільності складення в нижніх горизонтах ґрунтового профілю, що може свідчити про їх недостатню здатність до глибокого порушення ущільнених прошарків. Це може призводити до утворення фізичних бар'єрів для розвитку кореневої системи, погіршення гідротермічного режиму та зниження коефіцієнта використання вологи.

Що стосується *no-till*, то ця технологія, попри високу здатність до збереження поверхневої вологи завдяки безперервному мульчувальному шару, формує щільність складення на рівні $\geq 1,5 \text{ г/см}^3$, що свідчить про ризик

ущільнення ґрунту в середньо- та глибоких шарах за тривалого застосування. У разі відсутності систематичного контролю й чергування культур це може призводити до структурної деградації ґрунту, утруднення аерації та водопоглинання.

Таким чином, фізико-гідрологічні показники ґрунту значно варіюють залежно від системи обробітку. Застосування ресурсозберігаючих технологій (особливо *strip-till* і глибоке рихлення) демонструє найвищу ефективність у збереженні вологи та оптимізації щільності ґрунту. Натомість інтенсивні (оранка) чи недостатньо адаптовані (*mini-till*, *no-till* без ротації культур) технології вимагають додаткових заходів для попередження деградації фізичних властивостей ґрунту.

Встановлено, що низький рівень забур'яненості (практично відсутня) посівів кукурудзи на зерно на фоні проведення оранкою, глибоким рихленням і *mini-till* технології обумовлена ефективним передпосівним обробітком, що забезпечив механічне знищення проростків. За *no-till*, *verty-till* і *strip-till* технологій, де мінімізовано обробіток ґрунту, ефективний контролювання сегетальної рослинності забезпечило внесення ґрунтових гербіцидів у комбінації з гліфосатом. Завдяки достатньому зволоженню ґрунту під час обробки ґрунтовими гербіцидами, посіви тривалий час залишались чистими. У фазі 4–6 листків проведено внесення бакової суміші страхових гербіцидів, що забезпечило ефективність на рівні 96–98 % контролювання (хімічного прополювання) забур'яненості посівів кукурудзи до збирання врожаю.

Встановлено істотну залежність рівня врожаю зерна кукурудзи від поєднання системи основного обробітку ґрунту та рівня удобрення. Варіація показника в межах досліджу становила 5,5–9,8 т/га, що підтверджує визначальну роль агротехнологічних чинників у реалізації продукційного потенціалу культури (табл. 6).

Зокрема, в умовах 2025 р., найвищу врожайність зерна кукурудзи забезпечила оранка – 9,8 т/га на фоні внесення 200 кг карбаміду + 60 кг РКД, що підтверджує її перевагу за інтенсивного рівня мінерального живлення та

кращу реалізацію продукційного потенціалу культури. Дещо нижчі, але близькі показники отримано за глибокого рихлення (9,6 т/га) та *strip-till* технології (9,1 т/га), що свідчить про високий адаптивний потенціал цих систем і можливість їх ефективного застосування за достатнього забезпечення рослин елементами живлення та оптимізації ґрунтових умов.

Таблиця 6. Урожайність кукурудзи за різних систем основного обробітку ґрунту та удобрення, 2025 р.

Система обробітку ґрунту	Система удобрення*	Урожайність, т/га		
		т/га	± до контролю	
			т/га	%
Оранка	а	5,5	—	—
	в	9,2	—	—
	с	9,8	—	—
Глибоке рихлення	а	7,1	+1,6	+29
	в	8,9	-0,3	-4
	с	9,6	-0,2	-2
<i>No-till</i>	а	5,9	+0,4	+7
	в	7,4	-1,8	-20
	с	7,6	-2,2	-22
<i>Mini-till</i>	а	5,9	+0,4	+7
	в	7,2	-2,0	-22
	с	8,1	-1,7	-17
<i>Verti-till</i>	а	6,1	+0,6	+11
	в	7,9	-1,3	-14
	с	8,8	-1,0	-10
<i>Strip-till</i>	а	6,9	+1,4	+25
	в	8,8	-0,4	-4
	с	9,1	-0,7	-7

Примітка. Удобрення: а – без добрив; б – 100 карбамід+40 РКД; с – 200 карбамід+60РКД.

За всіх систем основного обробітку ґрунту простежувалася чітка тенденція зростання врожайності кукурудзи зі збільшенням рівня удобрення. Максимальні показники отримано за внесення 200 кг карбаміду + 60 кг РКД, де врожайність становила 7,6–9,8 т/га. Порівняно з фоном без добрив приріст урожайності за інтенсивного удобрення був найбільш вираженим за традиційної оранки та глибокого розпушування, що свідчить про кращу

реалізацію потенціалу мінерального живлення за інтенсивнішого впливу на ґрунтовий профіль.

Водночас технології *no-till*, *mini-till* і *verty-till* забезпечували формування нижчого рівня врожайності порівняно з оранкою, особливо за підвищених доз добрив, різниця між оранкою становила 10–22 %. Імовірною причиною є обмеження агрофізичних параметрів ґрунту (ущільнення, гірший водно-повітряний режим, неоднорідність розміщення поживних речовин у кореневмісному шарі), що могло знижувати ефективність використання добрив і, відповідно, рівень реалізації врожайного потенціалу культури в рік досліджень.

У результаті наукових досліджень встановлено показники економічної та енергетичної ефективності застосування різних систем обробітку ґрунту та удобрення за вирощування кукурудзи на зерно у беззмінних посівах умовах Лівобережного Лісостепу з метою підвищення врожайності культури, продуктивності праці, забезпечення повноцінного відтворення елементів родючості едатоїв за зменшення ресурсних, енергетичних витрат та оздоровлення екології агроландшафтів.

Економічна й енергетична ефективність вирощування кукурудзи визначалась поєднанням системи обробітку ґрунту та рівня удобрення. Загалом підвищення доз добрив збільшувало виробничі витрати й енерговитрати, тоді як рентабельність і коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}) мали тенденцію до зниження.

У табл. 7 наведено показники економічної та енергетичної ефективності вирощування кукурудзи на зерно за шести систем основного обробітку ґрунту (оранка, глибоке рихлення, *no-till*, *mini-till*, *verty-till*, *strip-till*-технології) на трьох фонах удобрення: без добрив, 100 карбаміду + 40 РКД, 200 карбаміду + 60 РКД.

Встановлено, що інтенсифікація мінерального живлення рослин кукурудзи закономірно підвищувала загальні витрати і загальні енерговитрати, одночасно збільшуючи енергію врожаю та, у більшості

випадків, отриманий умовно чистий прибуток, однак реакція різних систем обробітку була неоднаковою і чітко проявлялася через зміни собівартості, рентабельності та коефіцієнта енергетичної ефективності (K_{ee}).

Таблиця 7. Показники економічної та енергетичної ефективності застосування інноваційних систем обробітку ґрунту за вирощування кукурудзи на зерно, 2025 р.

Система обробітку ґрунту	Удобрєння*	Загальні витрати, грн/га	Собівартість, грн/т	Умовно чистий прибуток, грн/га	Рентабельність, %	Загальні енергозаграти, МДж/га	Енергія врожаю, МДж/га	K_{ee}
Оранка	а	21,7	3,94	25,1	116	17684	83248	4,7
	в	29,5	3,20	48,7	165	27417	139251	5,1
	с	32,7	3,33	50,6	155	33849	148333	4,4
Глибоке рихлення	а	21,3	3,00	39,1	184	14323	107466	7,5
	в	27,9	3,14	47,7	171	22985	134710	5,9
	с	31,2	3,25	50,4	162	29449	145306	4,9
<i>No-till</i>	а	18,6	3,16	31,5	169	14127	89302	6,3
	в	25,1	3,39	37,8	151	21921	112006	5,1
	с	28,1	3,69	36,5	130	28225	115034	4,1
<i>Mini-till</i>	а	19,6	3,32	30,6	156	12627	89302	7,1
	в	26,0	3,60	35,2	136	20897	108979	5,2
	с	29,3	3,62	39,5	135	27425	122602	4,5
<i>Verty-till</i>	а	20,4	3,34	31,5	155	13057	92330	7,1
	в	27,0	3,42	40,1	149	21333	119574	5,6
	с	30,4	3,45	44,4	146	27861	133197	4,8
<i>Strip-till</i>	а	21,8	3,16	36,8	169	14736	104438	7,1
	в	28,5	3,24	46,3	162	22967	133197	5,8
	с	31,6	3,47	45,8	145	29303	137738	4,7

Примітка. Удобрєння: а – без добрив; б – 100 карбамід+40 РКД; с – 200 карбамід+60РКД.

На фоні без добрив найсприятливіший баланс витрат і результату забезпечило глибоке рихлення: за загальних витрат на вирощування 21,3 тис. грн/га сформовано найнижчу собівартість 3,0 тис. грн/т, високий умовно чистий прибуток 39,1 тис. грн/га і максимальну рентабельність 184. Енергетично цей варіант також був найефективнішим: за енерговитрат

14323 МДж/га енергія врожаю становила 107466 МДж/га, а К_е відповідно 7,5. Для порівняння, оранка на фоні без добрив характеризувалася вищою собівартістю (3,94 тис. грн/т), нижчим умовно чистим прибутком (25,1 тис. грн/га) і мінімальним рівнем рентабельності (116 %) за найнижчого серед інших систем обробітку ґрунту значенні К_е 4,7), що вказує на гіршу ресурсну віддачу. Консерваційні системи на фоні без добрив вирізняються більшою енергоефективністю (наприклад, *mini-till*, *verty-till* і *strip-till* – К_е = 7,1), однак за рівнем умовно чистого прибутку та рентабельності вони поступалися глибокому рихленню (наприклад, *strip-till*: 36,8 тис. грн/га, 169 %; *mini-till*: 30,6 тис. грн/га, 156 %). *No-till*-технологія демонструє найнижчі загальні витрати (18,6 тис. грн/га) і відносно високу рентабельність (169 %), проте енергетична віддача була нижчою, ніж у глибокого рихлення (К_е = 6,3), що відображає меншу енергоокупність за даної системи обробітку ґрунту.

За внесення 100 карбаміду + 40 РКД витрати зростають у всіх системах, але економічний ефект проявився по-різному. Найвищий умовно чистий прибуток забезпечила оранка – 48,7 тис. грн/га за витрат 29,5 тис. грн/га, при цьому собівартість зменшилася до 3,2 тис. грн/т, а рентабельність зросла до 165 %. Водночас більш «ресурсно-ефективним» за сукупністю показників був варіант глибокого рихлення: за нижчих витрат (27,9 тис. грн/га) отримано майже такий самий умовно чистий прибуток (47,7 тис. грн/га), найвищу рентабельність за даного рівня удобрення (171 %) і мінімальну собівартість (3,14 тис. грн/т). Енергетичні показники підтверджують цю перевагу: при енерговитратах 22985 МДж/га енергія врожаю становила 134710 МДж/га, а К_е = 5,9, що істотно перевищує значення отримані за оранки (5,1). Схожу тенденцію відмічено за використання *strip-till*-технології (умовно чистий прибуток 46,3 тис. грн/га, рентабельність 162 %, К_е = 5,8), тоді як *mini-till* технологія виявилася найменш вигідним на внесення 100 карбаміду + 40 РКД у підживлення через підвищену собівартість (3,6 тис. грн/т) і нижчу рентабельність (136 %).

На фоні інтенсивного удобрення (200 карбаміду + 60 РКД у

підживлення) максимального умовно чистого прибутку досягнуто за оранки – 50,6 тис. грн/га, однак подальше нарощування витрат до 32,7 тис. грн/га супроводжувалося погіршенням «енергоефективності» порівняно з внесенням 100 карбаміду + 40 РКД: рентабельність знизилась до 155 %, а К_ее – до 4,4. Показово, що глибоке рихлення за цього рівня живлення забезпечило практично рівний прибуток (50,4 тис. грн/га) при нижчих витратах (31,2 тис. грн/га) і найвищій рентабельності серед досліджуваних технологій (162 %), з кращою енергоефективністю (К_ее = 4,9) за дуже високої енергії врожаю (145306 МДж/га). За інших систем інтенсифікація агрофону часто призводила до зростання рівня собівартості та зниження рентабельності. Зокрема, за технології *no-till* на фоні внесення 200 карбаміду + 60 РКД у підживлення, попри відносно невеликі витрати (28,1 тис. грн/га), сформовано найвищу собівартість (3,69 тис. грн/т), отримано найнижчий умовно чистий прибуток (36,5 тис. грн/га) за мінімального рівня рентабельності (130 %) та найменшим коефіцієнтом енергетичної ефективності – 4,1, що свідчить про слабку реалізацію ефекту високих доз застосування добрив за даної системи в умовах звітнього року.

Таким чином, встановлено, що оранка забезпечує найвищий умовно чистий прибуток за умови внесення мінеральних добрив, однак з позицій ресурсної та енергетичної ефективності найстабільнішим і найрезультативнішим серед досліджуваних систем обробітку виступає глибоке рихлення, яке поєднує нижчу собівартість, високий прибуток і максимальні значення рентабельності та К_ее на всіх фонах удобрення. Зростання дози внесення мінеральних добрив здебільшого підвищує валовий енергетичний вихід, але через різке збільшення загальних енерговитрат спричиняє зниження К_ее і часто – призводить до зменшення рівня рентабельності виробництва, що вказує на наявність економічно й енергетично оптимального рівня інтенсифікації, який істотно залежить від обраної системи обробітку ґрунту.

ВИСНОВКИ

В умовах Лісостепу України рекомендовано обирати технологію основного обробітку ґрунту з урахуванням компромісу між максимальною врожайністю, економічною доцільністю та енергетичною ефективністю. Як базовий, найбільш стабільний для виробництва доцільно застосовувати глибоке рихлення у поєднанні з помірним рівнем удобрення (100 кг карбаміду + 40 кг РКД у підживлення), оскільки саме це поєднання систем обробітку та удобрення забезпечує високу продуктивність за нижчої собівартості, максимальної рентабельності та енергетичної окупності затрат на вирощування сільськогосподарських культур. Такий підхід є оптимальним для більшості агровиробників, особливо за обмежених ресурсів або потреби зменшити виробничі ризики.

За наявності достатнього рівня вологозабезпечення, високої родючості ґрунту та прогнозованої економічної доцільності інтенсифікації (очікувана висока реалізаційна ціна зерна, висока культура землеробства) доцільно переходити на інтенсивний фон живлення (200 кг карбаміду + 60 кг РКД). Для отримання максимальної врожайності за таких умов ефективною залишається оранка, яка забезпечує найвищий рівень урожайності польових культур. Водночас, якщо в господарстві пріоритетом є збереження агрофізичної структури ґрунту та зниження ризиків ущільнення, практично рівнозначною альтернативою за нашими даними слугує глибоке рихлення, що дає змогу підтримувати більш сприятливі агрофізичні умови в кореневмісному шарі ґрунту.

Для господарств, які орієнтуються на ресурсозбереження та збереження вологи, рекомендовано впроваджувати *strip-till* як виробничо перспективну технологію: вона демонструє високий потенціал урожайності за достатнього живлення та порівняно високі економічні й енергетичні показники, поєднуючи продуктивність із мульчувальним ефектом рослинних решток. Її доцільно

використовувати на полях із ризиком літніх посух і потребою мінімізувати втрати вологи, за умови якісного налаштування агрегатів та локального внесення добрив у зону рядка.

Водночас *no-till* і *mini-till*-технології у виробництві доцільно застосовувати обережно та переважно диференційовано, оскільки за підвищених доз застосування мінеральних добрив вони можуть не забезпечувати належної реалізації потенціалу біологічної врожайності польових культур та економічної віддачі. Їх упровадження виправдане лише за наявності технологічного супроводу: локалізованого внесення добрив, контролю трафіку техніки, системної роботи з рослинними рештками та періодичного контролю ущільнення. Для всіх систем обробітку рекомендовано організувати виробничий моніторинг стану ґрунту (ущільнення, вологість, наявність ущільнених прошарків) і виконувати польові операції лише за оптимальної вологості, щоб запобігати деградації структури та втраті продуктивності в наступних роках.

Список літератури

1. Basso B., Ritchie J. T., Grace P. R., Sartori L. Simulation of Tillage Systems Impact on Soil Biophysical Properties Using the SALUS Model. *Italian Journal of Agronomy*. 2006. Vol. 4. P. 677–688. DOI: <https://doi.org/10.4081/ija.2006.677>.
2. Campbell B., Chen L., Dygert C., Dick W. Tillage and crop rotation impacts on greenhouse gas fluxes from soil at two long-term agronomic experimental sites in Ohio. *Journal of soil and water conservation*. 2014. Vol. 69, No. 6 P. 543–552. DOI:10.2489/jswc.69.6.543
3. Chen Y., Damphousse S., Li H. Vertical Tillage and Vertical Seeding. *Annual Conference, Halifax, NS, Canada*. 2016. Paper No. CSBE16-090. CSBE/SCGAB. P. 1–12. <https://library.csbe-scgab.ca/docs/meetings/2016/CSBE16090.pdf>
4. DeJong-Hughes J., Daigh A. Breaking Ground: How Tillage Impacts Soil, Yields & Costs. Upper Midwest Tillage Guide. *University Digital Conservancy*. 2021. <https://hdl.handle.net/11299/263302>.
5. Karnaukhov S. Strip-till tillage system. Advantages and disadvantages. *Agricultural sciences: collection of student scientific papers*. 2023. № 3(11). P. 69–74. [https://vsau.org/assets/images/content/studenty/zbirnik-sg-nayku_tom-3\(11\)2023.pdf](https://vsau.org/assets/images/content/studenty/zbirnik-sg-nayku_tom-3(11)2023.pdf)
6. Lira O. No-till tillage system: advantages and disadvantages. *Agricultural sciences: collection of student scientific papers*. 2023. № 3(11). P. 112–115. [https://vsau.org/assets/images/content/studenty/zbirnik-sg-nayku_tom-3\(11\)2023.pdf](https://vsau.org/assets/images/content/studenty/zbirnik-sg-nayku_tom-3(11)2023.pdf)
7. No-tillage Seeding in Conservation Agriculture. 2nd Ed / Baker C. J., Saxton K. E., Ritchie W. R., Chamen W. CT. et all CABI and FAO. Cromwe Press. 2007. 326 pp.
8. Sreshma C. K. Zero Tillage. *Vigyan Varta*. 2024. Vol. 5, is. 2. P. 81–84. https://www.vigyanvarta.in/adminpanel/upload_doc/VV_0224_22.pdf

9. Демиденко О. В. Ризики при переході до мінімального обробітку та віддалені наслідки безмінного його виконання на чорноземах типових Лісостепу Лівобережного України. *Корми і кормовиробництво*. 2014. Вип. 79. С. 66–72.
10. Землеробство XXI століття – проблеми та шляхи вирішення. / За ред. В. Ф. Камінського. Київ: ВП «Едельвейс», 2015. 272 с.
11. Коломиец Н. В., Драган Н. И. Реакция полевых культур на дифференциацию обрабатываемого слоя почвы по плодородию в условиях интенсификации земледелия. *Земледелие*. 1989. № 64. С. 26–30.
12. Коломієць М. В. Підвищення врожайності польових культур при різних системах обробітку ґрунту. *Землеробство*. 2003. № 75. С. 61–67.
13. Кравчук В., Новохацький М., Гусар В. Синтез техніко-технічних рішень для розкриття і використання ресурсів агробіосфери – техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Випуск 24 (38). Дослідницьке, 2019. С. 193–201.
14. Мазоренко Д. І., Пастухов В. І., Бакум М. В. та ін. Аналіз та прогнози використання системи основного обробітку ґрунту. *Автодвор*. 2012. № 1. С. 16–17.
15. Малієнко А. М. Соціально-економічні передумови формування агротехнологій (на прикладі еволюції систем обробітку ґрунту). Київ: Інститут аграрної економіки, 2004. 61 с.
16. Малієнко А. М., Гаврилов С. О. Сучасні тенденції і напрями формування технологій обробітку ґрунту в сівозмінах. *Сучасні системи землеробства і технології вирощування сільськогосподарських культур* / за ред. В. Ф. Камінського. Київ: «Едельвейс», 2012. С. 83–94.
17. Медведев В. В. Агро- и экофизика почв. Харьков: ООО «Полосатая типография», 2015. 312 с.

18. Медведєв В. В. Ґрунтозахисні технології і технічні заходи у стійкому землеробстві. *Зб. наук. пр. ННЦ «Інститут землеробства УААН»*. 2010. Вип. 3. С. 65–78.
19. Медведєв В. В. Нульовий обробіток ґрунту в Європейських країнах. Харків. 2010. 200 с.
20. Медведєв В. В., Лактіонова Т. М. Ґрунтово-технологічні вимоги до ґрунтообробних знарядь і ходових систем машинно-тракторних агрегатів. Харків. 2008. 68 с.
21. Медведєв В. В., Пліско І., Накісько С. Наукові основи точного механічного обробітку ґрунту і перспективи його впровадження в Україні. *Вісн. Львівського університету. Сер. Географічна*. 2017. Вип. 51. С. 234–246.
22. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Лісостепу України. Київ: Аграрна наука, 2010. 980 с.
23. Овсинский И. Е. Новая система земледелия. *Зерно*. Киев. 2010. 86 с.
24. Сайко В. Ф., Малієнко А. М. Системи обробітку ґрунту в Україні Київ: ВД «Екмо», 2007. 44 с.
25. Ситник В. П., Медведєв В. В. Обробіток ґрунтів в Україні: плужний, мінімальний чи нульовий? *Вісник аграрної науки*. 2007. № 2. С. 5–12.
26. Справочник по почвозащитному земледелию / под ред. И. Н. Безручка, Л. Я. Мильчевской. Киев: Урожай, 1990. 278 с.
27. Сухомлін Л., Кравчук В., Погорілий В., Новохацький М. та ін. Техніко-технологічний орієнтир на 2015 рік. *Техніка: технології АПК*. 2014. № 11(62). С. 6–7.
28. Танчик С. П. No-till і не тільки. Сучасні системи землеробства. Київ: Юнівєст Медіа, 2009. 160 с.
29. Танчик С. П. Землеробство – продовольча, енергетична та екологічна безпека України. *Біоресурси і природокористування*. 2009. Т. 1, №1–2. С. 80–84.

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

Наукове видання

ПТАШНІК Михайло Михайлович
БРУХАЛЬ Фелікс Йосипович
РЕМЕНЮК Юрій Олександрович
КРАСЮК Людмила Михайлівна
ЗАЯЦЬ Павло Степанович
БОРИС Наталія Євгеніївна
ДИКУН Олексій Васильович
ГОРДІЄНКО Олександр Віталійович

**ЗАСТОСУВАННЯ РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ
ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ
В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ**

НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Підписано до друку 06.10.2025.
Формат 60х84/16. Папір офсетний.
Друк цифровий. Друк. арк. 3.
Умов. друк. арк. 2,8. Обл.-вид. арк. 1,87.
Наклад 100 прим. Зам. № 1161/2.

Видавець та виготовлювач ТОВ «ТВОРИ».
Свідцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК № 6188 від 18.05.2018 р.
21034, м. Вінниця, вул. Немирівське шосе, 62а.
Тел.: 0 (800) 33-00-90, (096) 97-30-934, (093) 89-13-852.
e-mail: info@tvoru.com.ua
<http://www.tvoru.com.ua>