



# Найактуальніше

УДК 631.4 + 631.5

©2021

## АГРОІНЖЕНЕРНІ ПІДХОДИ ЩОДО ЗБЕРЕЖЕННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ

*В.Ф. Камінський<sup>1</sup>, В.В. Адамчук<sup>2</sup>, В.М. Булгаков<sup>3</sup>, В.Т. Надикто<sup>4</sup>*

*<sup>1</sup>доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН*

*<sup>2,3</sup>доктори технічних наук, професори, академіки НААН*

*<sup>4</sup>доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НААН*

*<sup>1</sup>ННЦ «Інститут землеробства НААН»*

*вул. Машинобудівників 2-Б, смт Чабани Фастівського р-ну*

*Київської обл., 08162, Україна*

*<sup>2</sup>Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН  
вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха Фастівського р-ну Київської обл., 08631, Україна*

*<sup>3</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна*

*<sup>4</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного  
просп. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь Запорізької обл., 72312, Україна*

*e-mail: <sup>1</sup>iznaan@ukr.net, <sup>2</sup>vvadamchuk@gmail.com, <sup>3</sup>vbulgakov@meta.ua,*

*<sup>4</sup>volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua*

*ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-9668-6742, <sup>2</sup>0000-0003-0358-7946, <sup>3</sup>0000-0003-3445-3721,*

*<sup>4</sup>0000-0002-1770-8297*

*Надійшла 29.10.2021*

**Мета.** Аналіз можливих агроінженерних шляхів призупинення стрімкого падіння і подальшого забезпечення збереження гумусу ґрунтів сільськогосподарського призначення. **Методи.** Аналіз та синтез наукових результатів, які містяться у вітчизняних і закордонних літературних джерелах з проблематики землеробства. Лабораторні та польові дослідження з визначення показника структурності ґрунту за різних рівнів буксування рушіїв агрегуючого трактора та забезпечення показника екофільності шин його ходових коліс були проведені з використанням найсучасніших методик багатofакторного експерименту, новітнього реєструючого обладнання, сучасних методик статистичної обробки матеріалів досліджень на ПК, регресійного та кореляційного аналізів. Аналогічні методи експериментальних досліджень були застосовані при проведенні лабораторно-польових випробувань широкозахватних і комбінованих машинно-тракторних агрегатів, у томі числі у технологіях із використанням постійної технологічної колії. **Результати.** Розглянуто інтенсивні процеси руйнування гумусу, які істотно впливають на збереження структури ґрунтів сільськогосподарського призначення. Окреслено конкретні дії та технологічно-організаційні рішення, що дадуть можливість подолати це складне і неспинне явище із застосуванням

**виключно агроінженерних підходів. Висновки.** Процес збереження структури ґрунтів сільськогосподарського призначення потребує термінового прийняття технологічно-організаційних рішень, спрямованих на: максимальне обмеження іммобілізації азоту ґрунту після загортання у нього органічних решток; розроблення технологічних прийомів і знарядь з обробітку ґрунту для розпушування поверхневого шару ґрунту із мінімальною площею його контакту з повітряно-крапельним середовищем; удосконалення основ агрегування сільськогосподарських машин/знарядь із урахуванням максимально допустимого буксування колісних енергетичних засобів на рівні 15% і концептуального підходу до їх баластування щодо вимог екофільності шин; застосування показника структурності ґрунту під час визначення періодичності строків проведення оранки плугами з передплужниками або їх двоярусними аналогами; широкого практичного застосування колійної системи землеробства (Controlled Traffic Farming); прийняття законодавчого документа щодо конкретної відповідальності землекористувачів за рівень родючості ґрунтів сільськогосподарського призначення.

**Ключові слова:** ґрунт, гумус, руйнування, структура ґрунту, родючість.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202111-01>

Слід зауважити, що ґрунти були, є і будуть основним засобом виробництва народного господарства на будь-яких етапах його розвитку. Головною особливістю ґрунтів сільськогосподарського призначення є їх родючість. Якщо керуватися класичним визначенням відомого вченого В.Р. Вільямса, яке не втратило своєї суті й донині, — родючість ґрунту — це його здатність забезпечувати життєву потребу рослин в одночасній і спільній наявності двох чинників їх існування — вологи та поживних речовин [1]. Незважаючи на те, що це визначення за формою може змінюватися і змінюється, за своїм внутрішнім змістом воно найглибше і найточніше відтворює таку фундаментальну природну здатність ґрунту, якою є його родючість.

Передусім така здатність визначається структурним станом ґрунтового середовища. Відомо, що цей стан може мати дві форми: грудкувату (структурну) і роздільно-частинну (безструктурну). Перша із них — це відносно пухкий шар грудочок діаметром від 0,25 до 10 мм, який формується за допомогою особливого «цементу», яким є гумус.

Водночас у безструктурному стані окремі частинки ґрунту, між якими послаблюється

взаємозв'язок, залягають суцільною масою на всю глибину орного горизонту. Уміст гумусу за таких умов катастрофічно зменшується за рахунок прояву його активної дегуміфікації.

Якщо сформована гумусом структура ґрунту є визначальним чинником його родючості, то слід визнати, що мінімальним завданням землеробства є збереження, а максимальним — покращення цієї структури. Сучасний стан гумусоутворення в українських ґрунтах є досить відомим і невтішним. Для детального ознайомлення із цією проблемою досить звернутися до спеціалізованих публікацій вітчизняних науковців агрономічного спрямування [2–4], в яких інформація про втрати гумусу надається переважно без предметного аналізу причин цього процесу або увага акцентується на необхідності збільшення вмісту гумусу, а не його збереженні.

За таких умов основної уваги потребує оптимальний вибір системи обробітку ґрунту. Автори роботи [5] дійшли висновку, що для формування позитивного балансу і розширеного відтворення гумусу слід лише замінити основний полицевий обробіток ґрунту локальним передпосівним його розпушуванням із внесенням повної дози

мінеральних добрив. Подібні висновки висвітлюються у роботах [6, 7] та багатьох інших.

Водночас, як свідчить практика, навіть повна відмова від полицевого обробітку ґрунту переважно не призупиняє зниження його родючості внаслідок постійних втрат гумусу, що вказує на неповне розуміння аграріями причин і природи руйнування цієї органічної речовини.

**Мета досліджень** — аналіз можливих агроінженерних способів призупинення стрімкого зниження і подальшого забезпечення збереження гумусу ґрунтів сільськогосподарського призначення.

**Методика досліджень.** Аналіз та синтез — для оцінки вітчизняних і зарубіжних літературних джерел та використання результатів власних теоретичних і експериментальних досліджень за напрямками: механіко-технологічних засад процесу оранки, як особливого прийому відновлення структури ґрунту; визначення максимально допустимого буксування рушіїв колісних тракторів і їх баластування з огляду на збереження структури ґрунту; створення низки моделей широкозахватних комбінованих агрегатів за схемою «push-pull»; розроблення технологій вирощування сільськогосподарських культур із використанням системи «Controlled Traffic Farming»; розроблення основ законодавчої відповідальності власників земель за їх використання.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Погіршення родючості ґрунтів унаслідок втрат гумусу є багатогранною проблемою, яка потребує комплексного дослідження. Розглянемо докладно сутність цього процесу. Нині відомі три основних способи втрат (руйнування) гумусу: 1) біологічний; 2) фізико-хімічний; 3) механічний. Проаналізуємо кожний із них.

1. Нормальне живлення рослин потребує розкладу ґрунтової органіки аеробними бактеріями у мінеральні окислені форми, у яких містяться всі потрібні елементи. Таким чином, усі органічні речовини, які потрапляють у зону дії аеробів (у т.ч. і гумус), зазнають систематичного і невідкладного руйнування. Оскільки гумус синтезується переважно в анаеробних умовах, його руйнування відбувається в умовах аеробіосу на поверхні

грудок ґрунту. Фізична суть цього явища полягає у втраті гумусом своїх цементуючо-склеювальних властивостей. Внаслідок цього кожна ґрунтова грудка позбавляється міцності через хоча і повільний, але невпинний розпад на окремі пилові частинки. У міру їх накопичення вони все більше заповнюють проміжки між ґрунтовими грудками і створюють умови, за яких повітря і ґрунтова волога стають антагоністами. Внаслідок цього поверхневий шар ґрунту поступово втрачає свою структуру, а отже, — і родючість.

Повністю зупинити цей процес неможливо. Ті ж ґрунтозахисні технології, які, за передбаченням низки науковців, зумовлюють процес гумусоутворення у аеробних умовах, на наш погляд у кращому разі здатні підтримувати лише співвідношення двох процесів: утворення гумусу і його розпаду. Хоча для ґрунтового доказу цього твердження потрібно значно більше нових наукових результатів, ніж маємо нині.

Якщо розпад гумусу біологічним шляхом зупинити принципово неможливо, то певним чином уповільнити перебіг цього процесу можна. Для цього, наприклад, одночасно із загортанням рослинних решток у ґрунт на кожну їх тонну слід додатково вносити мінеральні добрива із розрахунку приблизно 7–10 кг д. р. азотних добрив. Останні у цьому випадку потрібні не для живлення рослин, а для забезпечення функціонування аеробних бактерій під час перероблення ними загорнутих у ґрунт рослинних решток. Якщо цього не зробити, то відбуватиметься відомий науковцям і практикам процес іммобілізації азоту у ґрунтовому середовищі з усіма випливаючими звідси негативними наслідками [8].

Водночас, як свідчить аналіз змісту наукових статей провідних вітчизняних науково-виробничих журналів і безпосереднє спілкування з аграріями, таке технологічне рішення ще не має статусу обов'язкового для виконання. Досить часто солома та інші рослинні рештки зернових колосових та технічних культур загортаються у ґрунт без унесення додаткової дози мінеральних добрив. Причина цього явища, на нашу думку, пояснюється не стільки недостатнім рівнем популяризації науковцями цього прийому,

скільки відсутністю чітких зональних рекомендацій щодо його застосування або відсутністю коштів на придбання добрив, що вкрай потрібні, особливо з урахуванням перспективи ширшого впровадження системи точного землеробства агровиробниками України.

Вважаємо, що у будь-якому випадку для збереження гумусу процедура повернення органіки у ґрунт з одночасним внесенням мінеральних добрив має здійснюватися двома їх нормами: перша — для живлення культурних рослин, а друга — для живлення аеробних бактерій і інших ґрунтових мікроорганізмів. Ці норми мають максимально точно враховувати конкретні зональні ґрунтово-кліматичні особливості. Будь-які інші способи гальмування втрат гумусу біологічним шляхом мають бути відомі не лише науковцям, а й перебувати на озброєнні у тих, хто безпосередньо займається вирощуванням сільськогосподарських культур.

2. Щодо фізико-хімічного руйнування гумусу, то цей процес здійснюється таким чином. За твердженням В.Р. Вільямса [1], усі атмосферні опади, які потрапляють у ґрунт, містять у собі аміачні солі, що знаходяться у стані іонізації. Особливе місце серед цих іонів займає катіон амонію  $\text{NH}_4^+$ . Саме він, контактуючи з поверхневим шаром ґрунту, неминуче витісняє наявний у гумусі катіон кальцію  $\text{Ca}^{++}$  і займає його місце. Таке катіонне заміщення призводить до того, що гумус поступово втрачає свої цементуючо-склеювальні властивості. Як зазначалося вище, через це явище поступово погіршується структура ґрунту, який розпадається на пиловидні частинки. Зрештою він стає нездатним (принаймні малоздатним) здійснювати потрібний рівень забезпечення рослин поживою і вологою, тобто втрачає родючість.

Як і біологічний, фізико-хімічний спосіб руйнування гумусу зупинити також неможливо. Мабуть мову можна вести про певне уповільнення цього процесу. Але яким чином? Відносно вичерпну відповідь на це проблемне питання мають дати науковці-ґрунтознавці.

На наш погляд, позитивного вирішення цьому питанню може надати застосування вирощування сільськогосподарських

культур за технологіями «no-till» і «strip-till», оскільки за таких умов розташована на ґрунті рослинна мульча певним чином обмежує контакт катіонів  $\text{NH}_4^+$  із поверхневим шаром ґрунту.

Також одним із варіантів розв'язання цієї проблеми може бути науково обґрунтоване систематичне унесення кальцієвмісних добрив, але з обов'язковим урахуванням наявності бору. Лише за таких умов засвоєння кальцію ґрунтово-поглинальним комплексом буде ефективним [9].

У реальних умовах до такого заходу вдаються, зазвичай, тоді, коли постає потреба зменшити кислотність ґрунту. Стан його структури залишається за такого підходу поза увагою, що нині є фактом неприпустимим.

Перспективними є такі прийоми основного обробітку ґрунту, які дають можливість здійснювати задане розпушення його нижнього (анаеробного) шару і мінімальне — верхнього (аеробного). У цьому випадку в останнього істотно зменшується та площа поверхні, на яку безпосередньо впливають катіони амонію. Розроблення принципів нових робочих органів ґрунтообробних знарядь такого технологічного призначення має бути одним із пріоритетних завдань аграрних інженерів.

У цій проблемі особливої уваги заслуговує ще один момент, оскільки крім повітряно-краплинного шляху доступу катіонів  $\text{NH}_4^+$  у ґрунт існує ще один і досить істотний. Йдеться про внесення амонійних добрив: сульфат амонію  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , хлористого амонію  $\text{NH}_4\text{Cl}$  тощо. Відомо [10], що не всі катіони  $\text{NH}_4^+$  засвоюються рослинами із ґрунтово-поглинального комплексу. Частина цих іонів переходить у нітратну форму. Водночас цілком імовірно, що за умови зайвого внесення амонійних добрив певна частина катіонів амонію буде здійснювати свій руйнівний вплив щодо гумусу ґрунту. З огляду на це, ретельне визначення дози внесення таких добрив було, є і буде залишатися дуже важливим аспектом правильного ведення рільництва. До одного із них слід віднести застосування ефективних розробок альгології [11]: використання ґрунтових водоростей типу *Nostoc commune* для переведення атмосферного молекулярного азоту у доступну для рослин

нітратну форму. Такого самого результату можна досягти, застосовуючи безполицевий обробіток ґрунту, за якого ґрунтові водорослі здатні до розвитку своїх популяцій. Особливо в осінній період.

3. Механічний спосіб руйнування гумусу має виключно суб'єктивну природу, зумовлену, насамперед, техногенною діяльністю людини в аграрній галузі. Ця проблема досить предметно досліджена науковцями [12–14]. Водночас покращення практичної ситуації зі збереженням структури ґрунту і родючості наразі не спостерігаємо. Слід підкреслити, що нині у законодавчому полі України існує чинний стандарт ДСТУ 4521:2006 «Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт». Проте, дотримання його вимог на практиці аграрії не виконують належним чином. Одна із причин — відсутність методичних основ практичного застосування вимог вказаного стандарту. Останній, як відомо, для конкретних ґрунтово-кліматичних умов обмежує тиск рушіїв енергетичних засобів на ґрунт у кПа на такому рівні, дотримання якого унеможливує погіршення його структури і родючості. Але як аграріям на практиці скористатися цими вимогами? Адже виробники тракторів у технічній документації не надають таку вкрай необхідну експлуатаційникам інформацію, як питомий тиск рушіїв на ґрунт у кПа. І це є характерним для всіх тракторобудівників світу.

Певною мірою їх зрозуміти можна, оскільки значення такого показника залежить не тільки від експлуатаційної ваги енергетичного засобу, а й від тиску повітря в шинах, їх ширини і діаметра, а найголовніше — від твердості ґрунту і його вологості. Тобто, у кожному конкретному випадку використання того чи іншого трактора, питомий тиск його рушіїв на ґрунт буде різним. Крім цього, все ускладнюється проблематичністю вимірювання такого показника у польових умовах. Особливо у частині визначення площі опорної поверхні рушіїв трактора.

Незважаючи на зазначене вище, способи практичного використання вимог ДСТУ 4521:2006 для запобігання переущільнення ґрунту існують. Передусім під час вибору стратегії баластування енергетичних засобів. Нині майже на всіх презентаційних

заходах можна побачити низку моделей сучасних тракторів, передні навісні механізми яких облаштовано металевими баластами. Серед науковців існує неправильна, на наш погляд, думка про те, що у принципі енергетичний засіб може бути забаластований масою, яка дорівнює його експлуатаційній [15]. Згідно запропонованої нами умови екофільності (екологічної безпеки) тракторної шини рівень або величина баластування ( $M_B$ ) колісного енергетичного засобу має визначатися з урахуванням двох обмежень [16]. Перше із них визначається вимогами ДСТУ 4521:2006 щодо максимально допустимого у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах питомого тиску рушіїв трактора на ґрунт ( $[Q_{max}]$ ). Друге обмеження репрезентує максимальну вантажопідйомність шини  $P_{ш}$  з урахуванням того вертикального навантаження  $N_{ек}$ , яке припадає на її опорну площу  $N_{он}$  (рис. 1).

Як показали дослідження, з урахуванням певної синергії цих обмежень за конкретних ґрунтових умов баластування колісного трактора не тільки з одинарними, а й із подвоєними шинами може бути обмеженням і навіть неможливим (!).

Інший напрям використання ДСТУ 4521:2006 пов'язаний із буксуванням енер-

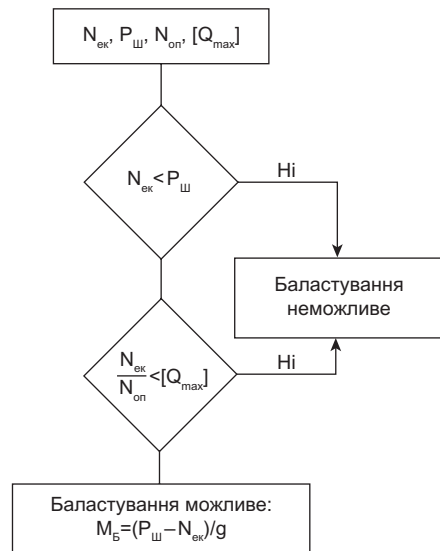


Рис. 1. Блок-схема визначення можливості баластування трактора з урахуванням умови екофільності шини

гетичних засобів, передусім, — колісних. Оскільки найвищих тягових показників такі енергетичні засоби досягають за буксування рушіїв на рівні 22–24% [17]. З урахуванням щадного впливу на структуру ґрунту такий рівень буксування тракторів взагалі неприпустимий, що є фактом цілком зрозумілим і безсумнівним. Водночас виникає питання: яке відносно обґрунтоване значення цього показника є максимально допустимим?

Для пошуку відповіді на це важливе питання ми запровадили методичний підхід, суть якого є такою: для руйнування структури ґрунту у будь-якому напрямку — вертикальному чи горизонтальному — здійснюється надмірна деформація чи зріз його шарів. За таких умов тиск рушіїв трактора на ґрунт у горизонтальній площині розглядали як відношення максимальної дотичної сили тяги колеса до площі бічної поверхні ґрунтозацепів його колеса. У якості обмежувального фактора при цьому приймали значення вказаного вище параметра  $[Q_{max}]$ , визначеного стандартом ДСТУ 4521:2006 для застосування у вертикальній площині [18].

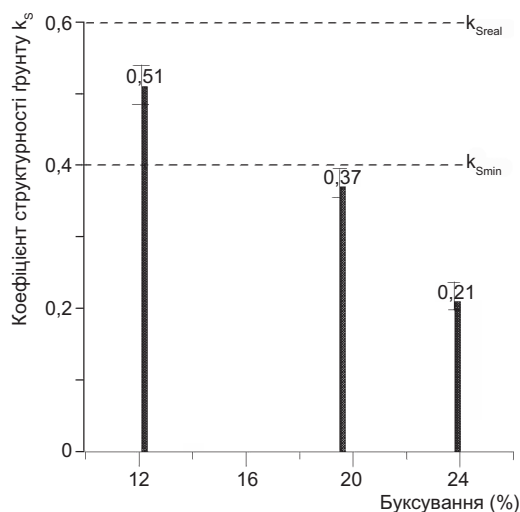
Цей методичний прийом дав змогу нам установити таке максимально допустиме значення буксування рушіїв колісного трактора ( $\delta_{max}$ ), за якого зріз ґрунтових шарів його колесами унеможливується взагалі,

а деформація зсуву ґрунту обмежується допустимим значенням параметра  $[Q_{max}]$ . За результатами аналітичних досліджень встановлено, що значення  $\delta_{max}$  при цьому не має перевищувати 15% [19, 20]. Як показали результати проведених нами експериментальних досліджень (рис. 2), у цьому випадку дійсне значення показника структурності ґрунту  $k_s = 0,51$  вище за мінімально допустиме (0,4).

Підкреслимо, що сучасні колісні трактори переважно мають активний привід коліс переднього і заднього мостів, а також високі зчіпні властивості їхніх шин. Якщо до цього долучити вимогу  $\delta_{max} < 15\%$ , то отримаємо обставину, за якою залежність буксування рушіїв трактора ( $\delta$ ) від його тягового зусилля ( $P_{кр}$ ) матиме лінійний характер виду  $\delta = a \cdot P_{кр} + b$ , де  $a$  і  $b$  — певні константи.

У практичному сенсі це означає, що для складання ефективних машинно-тракторних агрегатів виробничники повинні мати нові, але вже не тягові, а тягово-динамічні характеристики використовуваних ними колісних тракторів. Для досягнення такого результату науковці мають перекопати виробників енергетичних засобів або дилерів із продажу їх закордонних зразків на проведення спільного спеціалізованого циклу польових випробувань. Отримані при цьому тягово-динамічні характеристики тракторів мають репрезентувати режими їх роботи за умови буксування рушіїв не більше 15%, реалізації їх правильного баластування і обґрунтованого здійснення тягових операцій на подвоєних шинах. Скомплектовані з урахуванням цього машинно-тракторні агрегати будуть характеризуватися принаймні щадним впливом на структуру та родючість ґрунту.

Цей ефект можна істотно підсилити, якщо замість традиційних використовувати комбіновані машинно-тракторні агрегати. Науковцями і виробничниками технологічні, технічні і економічні аспекти цього напрямку значною мірою відпрацьовані. Теоретично і експериментально доведено, що обсяг застосування комбінованих машинно-тракторних агрегатів у господарствах має визначатися природно-кліматичними умовами, фізико-механічними властивостями оброблюваних ґрунтів, застосовуваною



**Рис. 2.** Залежність коефіцієнта структурності ґрунту від буксування колісного трактора

системою землеробства, агротехнічними вимогами до обробки ґрунтів і посівів, можливістю і доцільністю поєднання технологічних операцій, а також наявною енергетичною базою. Водночас підкреслюється, що застосування комбінованих агрегатів сприяє підвищенню урожайності оброблюваних культур, збереженню родючості ґрунту, задовільному їх інтегруванню у нові технології.

За способом агрегатування комбіновані машинно-тракторні агрегати поділяються на три групи: 1) агрегати, у яких одноопераційні машини/знаряддя послідовно з'єднані між собою за допомогою зчіпок; 2) агрегати, у яких енергетичний засіб агрегується з машиною, що має єдину раму, на якій можуть закріплюватися постійні або змінні робочі органи; 3) агрегати за схемою «push-pull», складені з кількох одноопераційних машин/знарядь, одні з яких навішуються на передній, а інші — на задній навісний механізми енергетичного засобу.

Основною перевагою першого способу складання комбінованого машинно-тракторного агрегату є те, що останні комплектують з наявних у господарстві серійних одноопераційних машин/знарядь без їхнього перероблення або з незначними змінами. Натомість, такі комбіновані машинно-тракторні агрегати, як правило, громіздкі і металомікі. Одноопераційні серійні машини, що входять до складу цих агрегатів, зазвичай розраховані на самостійну роботу з тракторами за їхнього оптимального завантаження. Тому в них часто не збігаються ширина захвату й оптимальна швидкість роботи, що утруднює вибір оптимальних параметрів складеного комбінованого агрегату.

Перевагою комбінованих агрегатів другої схеми є більша компактність і менша металомікість, що дозволяє частину машин/знарядь робити навісними або напівнавісними. До того ж є можливість використання робочих органів і секцій серійних машин/знарядь у необхідному сполученні. До недоліків таких комбінованих машинно-тракторних агрегатів варто віднести більш складну конструкцію рами, накопичення на ній робочих органів, що часто утрудняє обслуговування машини, збільшує тенденцію до забивання робочих органів ґрунтом і рослинними

рештками, знижує експлуатаційну надійність порівняно з одноопераційними машинами/знаряддями.

Найперспективнішою, на нашу думку, виглядає третя схема складання комбінованих машинно-тракторних агрегатів. Переваги таких агрегатів полягають у тому, що маса і тяговий опір фронтально навішених секцій машин чи знарядь збільшують вертикальне навантаження на передні тягові колеса енергетичного засобу, підвищують зчеплення їх із ґрунтом і зменшують буксування. У підсумку поліпшуються умови використання потужності енергетичного засобу за рахунок перерозподілу навантажень по його мостах, підвищується продуктивність праці і знижуються питомі витрати пального. У багатьох випадках знижується металомікість і кінематична довжина агрегату, що приводить до зменшення ширини поворотної смуги і невиробничих витрат часу під час руху комбінованого машинно-тракторного агрегату на ній.

Проте для складання комбінованих машинно-тракторних агрегатів за такою схемою потрібний енергетичний засіб із переднім навісним механізмом. Бажано, щоб він мав ще й передній вал відбору потужності, реверсивний пост керування або реверсивну трансмісію, двигун з двома рівнями потужності тощо.

Останнім часом Україна освоїла випуск орно-просапних тракторів серії ХТЗ-160, які майже повністю відповідають сформульованим вище вимогам. На базі низки моделей тракторів ХТЗ-160 розроблено відповідні схеми нових перспективних комбінованих машинно-тракторних агрегатів (рис. 3).

Ці комбіновані агрегати не мають аналогів у Європі. Схеми, параметри і режими їх роботи обґрунтовано на основі аналізу багатьох результатів проведених теоретичних і експериментальних досліджень відповідних зразків [21]. Отримані при цьому результати вказують на перспективність застосування нових комбінованих машинно-тракторних агрегатів, функціонуючих за схемою «push-pull» при розв'язанні проблеми зменшення ущільнення ґрунту, підвищення технологічної універсальності колісних енергетичних засобів за рахунок ефективного використання їх передніх



а



б



в



г

**Рис. 3. Комбіновані машинно-тракторні агрегати, що функціонують за схемою «push-pull»:** а — орно-подрібнювальний; б — дискувально-чизельний; в — орно-удобрювальний; г — жнивварко-луцильний

навісних механізмів. Слід підкреслити, що у більшості закордонних колісних тракторів їх передні навісні механізми замість навісних машин/знарядь обладнано металевими баластними вантажами.

Водночас незалежно від того, який машинно-тракторний агрегат використовується — традиційний чи комбінований, — ущільнення зазнає значна частина обробленої площі того чи іншого поля. Досить часто вона є меншою у 2–4 рази за ту, яка припадає на сумарну площу колій від проходу по полю енергетичних засобів у складі машинно-тракторного чи комбінованого машинно-тракторного агрегату [12].

Принциповим виходом із цієї ситуації є розподіл площі поля на технологічну і транспортну. Перша призначена для вирощування сільськогосподарських культур, а тому вона зовсім не піддається впливу рушіїв використовуваних енергетичних засобів. Друга частина площі поля навпаки призначена виключно для переміщення ходових систем тракторів. Оскільки вона не засівається культурними рослинами, то вилучається із технологічного обігу. Але це повністю компенсується тим, що за рахунок відсутності ущільнення ґрунту енергетичними засобами зростає родючість ґрунту технологічної зони поля. У оглядовій

перспективі ця компенсація доповнюється реальною економічною вигодою.

У світовій практиці така технологія, відома під назвою СТФ (Controlled Traffic Farming), реалізовується досить ефективно. В Україні, на превеликий жаль, вона практичного застосування поки ще не знайшла. І це, незважаючи на те, що розроблення основ упровадження цієї технології у ґрунтово-кліматичних умовах нашої країни давно вийшло за межі теоретичних і експериментальних досліджень [22, 23]. Нами розроблено технології вирощування просапних і зернових колосових культур із застосуванням СТФ. Отримані при цьому результати свідчать, що у цьому випадку процес ущільнення агрофону знаходиться під повним технологічним контролем. Загалом це однозначно сприяє покращенню родючості ґрунту і у підсумку приводить до підвищення урожайності сільськогосподарських культур.

Безсумнівно, на підставі зазначеного вище, під синергетичним впливом розглянутих біологічного, фізико-хімічного і особливо механічного факторів структура поверхневого шару ґрунту (фактично це 8–10 см) з часом поступово погіршується. Пиловидні (знеструктурені) його частинки після перших же опадів цементуються у макроагрегати

високої щільності. Застосовуване за таких умов на практиці розпушення поверхневого шару ґрунту не вирішує проблеми, оскільки істотно зменшену за рахунок ущільнення шпаруватість ґрунту (менше 50%) можна відновити лише за рахунок життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів. Але для цього потрібні відповідні умови і час. Саме незнання цього спонукає розробників сільськогосподарських машин і знарядь облаштовувати їх зайвими механізмами для розпушення ущільненого ґрунту по слідах рушіїв трактора. Позитивного результату при цьому немає, а відповідне небажане ускладнення і здорожчання конструкцій машин/знарядь, — є.

На підставі зазначеного вище стає зрозумілим, що для відновлення міцності структури верхнього ґрунтового шару його треба ізолювати від впливу краплинної атмосферної води і повітря через переміщення в анаеробні умови на місце нижнього — структурного. Застосування мульчування ґрунту може сприяти розв'язанню цього завдання, але лише частково, оскільки для цього слід створити потужний шар мульчі. А це далеко не завжди вдається на практиці.

Єдиним знаряддям, яке здатне забезпечити переміну місцями двох шарів ґрунту без їх перемішування (що принципово неприпустимо!), — є плуг. Як відомо, це орне знаряддя обертає пласт ґрунту за два прийоми. Спочатку передплужник скидає на дно борозни розламані за поверхнями найменшого опору глиби знеструктуреного ґрунту, а потім основний корпус плуга за сипає ці глиби зверху грудкуватою (попередньо оструктуреною) масою.

Доцільність зазначеного вище повністю підтверджується думкою досить відомого вченого, землероба-практика І.Є. Овсінського, хоча він вважав оранку шкідливою і пропонував здійснювати її лише один раз. Так він наголошував [24], що: «глубокая вспашка — это порча почвы или непроизводительная трата удобрений; только в исключительных случаях она может быть произведена *один раз в качестве мелиоративного (улучшающего) средства. Это имеет место тогда, когда верхний слой почвы отличается дурными качествами, и можно*

**его поправить землю, извлеченной из подпочвы** — (виділено авторами)».

Оскільки втрата структури ґрунту верхнім шаром і її відновлення нижнім шаром не відбувається за рік, то потреби в щорічному здійсненні оранки дійсно немає. Але тоді виникає питання щодо визначення часу проведення цієї технологічної операції. На нашу думку [25], орний горизонт ґрунту можна експлуатувати без обертання до тих пір, поки верхній його шар (8–10 см) не дійде до необхідної граничної структурності. На практиці її прийнято оцінювати відносно кількості агрономічно цінних агрегатів, до яких відносяться грудочки ґрунту діаметром від 0,25 до 10,0 мм:  $K_c = (\sum M_a) / (\sum M_o)$  де  $K_c$  — коефіцієнт структурності ґрунту;  $M_a$  — маса ґрунтових частинок діаметром 0,25–10,0 мм;  $M_o$  — маса ґрунтових частинок, діаметр яких менший за 0,25 мм і більший за 10,0 мм.

Процес визначення показника  $K_c$  «сухим» методом потребує наявності усього трьох сит із комплекту Савінова, одне із яких «глухе», а два інших з отворами діаметром 0,25 і 10,0 мм. Рішення щодо необхідності проведення оранки приймається тоді, коли значення коефіцієнта структурності ґрунту є меншим за 0,67.

Водночас наявність сита із діаметром отворів 0,25 мм істотно ускладнює процес просівання ґрунту і отримання достовірних лабораторних даних. Кардинально змінити ситуацію на краще може розроблення сучасного електронного приладу, здатного у режимі «on-line» хоча б у одній площині оцінювати кількість ґрунтових частинок і агрегатів та їх геометричні розміри.

Як зазначалося вище, переміна місцями двох шарів ґрунту плугом має унеможливити їх перемішування. І це дуже принципова вимога. Інакше знеструктурений шар ґрунту буде поступово «розбавляти» нижній структурований. Із часом такий систематично здійснюваний процес зумовить незадовільну структуру (а отже, і родючість) усього орного (20–22 см) горизонту.

Саме такий результат ми маємо нині на наших ланах через щорічну оранку без передплужників. У наших публікаціях [25] неодноразово розглядалися широко поширені причини видалення виробничниками

цих робочих органів. Це здійснювалося без усвідомлення, що технологічно виправданою відсутність передплужників є тільки у випадку загортання органічних добрив (гною) або вапна у ґрунт. В інших випадках за їх видалення орний шар ґрунту перетворюється у гомогенне середовище, тоді як за оранки з передплужником він завжди є гетерогенним.

Як свідчить класична література [26], ширина захвату передплужника має становити 2/3 ширини захвату основного корпусу. Нині у багатьох сучасних закордонних і вітчизняних плугів ширина захвату передплужника дорівнює уже не третині, а щонайбільше половині ширини захвату основного корпусу. А сам передплужник часто декларується не як обов'язковий робочий орган, а додаткова опція.

За нашим глибоким переконанням, зменшувати ширину захвату передплужника недоцільно. Навпаки, замість нього можна (і навіть бажано) використовувати рівноцінний робочий орган. На практиці конструкція такого знаряддя відома як двоярусний плуг. Багаторічні експериментальні дослідження роботи цих орних знарядь виявили низку технологічних переваг. Передусім це стосується повноти загортання рослинних решток агротехнічного фону — у двоярусного плуга вона становить майже 100%. Застосування цих орних знарядь дає змогу здійснювати агрегаткування трактора колесами правого борту у пів борозні, за рахунок чого зменшуються питомі витрати пального машинно-тракторним агрегатом. Якщо нині зазначені переваги двоярусних плугів мало відомі виробничникам, це — пряме упущення агроінженерів.

Про які б технологічні прийоми збереження гумусу ми не говорили, без відповідного соціально-правового супроводу вони не даватимуть бажаного результату. Йдеться про відсутність чіткого, однозначного і конкретного механізму відповідальності земле-

користувача за погіршення структури ґрунту і його родючості. Для прикладу, він може бути таким. Кожна земельна площа, яка знаходиться чи то в оренді, чи у власності землекористувача, має бути сертифікована за рівнем вмісту у ній гумусу як потенційного показника родючості ґрунту. Кількісна характеристика цього показника (ДІ) може бути представлена у формі довірчого інтервалу (%):  $ДІ = СЗ \pm ГП$ , де СЗ — середнє значення рівня гумусу на певній земельній площі; ГП — гранична помилка значення СЗ.

Якщо через визначений час використання певної земельної площі виявиться, що фактичний рівень гумусу знаходиться у межах сертифікованого ДІ, то землекористувач дотримується адекватної практики її експлуатації. За умови перевищення дійсного рівня гумусу над сертифікованим землекористувач повинен в обов'язковому порядку отримати від держави істотну фінансову винагороду — як показник відмінного і вкрай бажаного ставлення до нашого національного багатства. Якщо фактичний рівень гумусу виявиться меншим за значення ДІ, тоді держава, громада тощо, має здійснити два кроки: 1) назавжди позбавити землекористувача права здійснювати подальшу експлуатацію земельної площі; 2) стягнути із землекористувача кошти, необхідні для відновлення завданої ним шкоди у вигляді зменшення родючості експлуатованої земельної площі.

За відсутності такого або подібного конкретного механізму контролю за станом використання земель сільськогосподарського призначення рівень їх родючості може тільки погіршуватися. Натомість, лише наявність відповідного механізму контролю зумовить гарантію здійснення суб'єктом ретельного і абсолютно аргументованого аналізу можливих ризиків перед прийняттям рішення щодо придбання ним прав господарювання на землю. Ціна необдуманого рішення буде надто високою.

## Висновки

*Процес збереження структури ґрунтів сільськогосподарського призначення потребує термінового прийняття технологічно-організаційних рішень у напрямку:*

- максимального обмеження іммобілізації азоту ґрунту після загортання у нього органічних решток;
- систематичного контролю забезпече-

ності ґрунтового-поглинального комплексу кальцієм і відповідними мікроелементами;

- розроблення технологічних прийомів і знарядь з обробітку ґрунту, направлених на розпушування поверхневого шару ґрунту із мінімальною площею його контакту з повітряно-крапельним середовищем;
- удосконалення основ агрегаткування сільськогосподарських машин / знарядь із урахуванням максимально допустимого буксування колісних енергетичних засобів на рівні 15% і концептуального підходу

до їх баластування щодо вимог екофільності шин;

- застосування показника структурності ґрунту при визначенні періодичності строків проведення оранки плугами з передплужниками або двоярусними їх аналогами;
- широкого практичного застосування колійної системи землеробства (Controlled Traffic Farming);
- прийняття законодавчого документа щодо конкретної відповідності землекористувачів за рівень родючості ґрунтів сільськогосподарського призначення.

**Kaminskyi V.<sup>1</sup>, Adamchuk V.<sup>2</sup>, Bulgakov V.<sup>3</sup>, Nadykto V.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>NRC «Institute of Agriculture of NAAS», 2b Mashynobudivnykiv Str. Chabany village, Fastiv district, Kyiv oblast, 08162, Ukraine, <sup>2</sup>Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production of NAAS, 11 Vokzalna Str., Hlevakha township, Fastiv district, Kyiv oblast, 08631, Ukraine, <sup>3</sup>National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine, <sup>4</sup>Tavriya State Agrotechnological University named after Dmytro Motorny, 18 B. Khmelnytskyi Ave., Melitopol, Zaporizhzhia oblast, 72312, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>iznaan@ukr.net, <sup>2</sup>vvadamchuk@gmail.com, <sup>3</sup>vbulgakov@meta.ua, <sup>4</sup>volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua; ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-9668-6742, <sup>2</sup>0000-0003-0358-7946, <sup>3</sup>0000-0003-3445-3721, <sup>4</sup>0000-0002-1770-8297

### **Agroengineering approaches to preserving soil fertility**

**Goal.** To analyze possible agro-engineering ways to stop the rapid fall and to ensure further preservation of humus in agricultural soils. **Methods.** Analysis and synthesis of scientific results contained in domestic and foreign literature on agriculture. Laboratory and field experiments aimed at determination of the structure of the soil at different levels of slippage of the engines of the aggregate tractor and provision of the ecophilicity of the tires of its running wheels were carried out using modern methods of multifactor experiment, the latest recording equipment, modern methods of statistical processing of research materials on PC. Similar methods of experimental researches

were applied at carrying out laboratory field tests of wide-reaching and combined machine-tractor units, including technologies with the use of a constant technological track. **Results.** Intensive processes of humus destruction are considered, which significantly affect the preservation of the structure of agricultural soils. Specific measures and technological and organizational solutions that allow overcoming this complex and incessant phenomenon with the use of exclusively agro-engineering approaches are outlined. **Conclusions.** The process of preserving the structure of agricultural soils requires urgent adoption of technological and organizational decisions aimed at: maximum restriction of soil nitrogen immobilization after wrapping organic residues in it; development of technological methods and tools for tillage for loosening the surface layer of the soil with a minimum area of its contact with the air-drip medium; improvement of the basics of aggregation of agricultural machines/tools taking into account the maximum allowable slippage of wheeled energy means at the level of 15% and the conceptual approach to their ballasting in relation to the requirements of ecophilicity of tires; application of the soil structure indicator when determining the periodicity of plowing with plows with plowshares or their two-levelled analogues; wide practical application of track system of agriculture (Controlled Traffic Farming); adoption of a legislative document on the specific responsibility of land users for the level of fertility of agricultural soils.

**Key words:** soil, humus, destruction, soil structure, fertility.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-01>

## **Бібліографія**

1. Вильямс В.Р. Почвоведение с основами земледелия. М.: Гос. издат. сельскохоз. литературы. 1949. 472 с.

2. Балюк С.А., Медведєв В.В., Воротінцева Л.І., Шімел В.В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня.

*Вісник аграрної науки*. 2017. № 8. С. 5–11.

3. Балюк С.А., Медведєв В.В., Захарова М.А. Стан ґрунтів України та шляхи підвищення їх родючості в умовах оптимізації земельних ресурсів України. *Землеробство*. 2013. № 85. С. 14–24.

4. Кравченко Ю.С. Сучасний стан родючості українських чорноземів. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2019. Вип. 10. № 3. С. 29–41.

5. Картамышев Н.И., Шумаков В.А., Зеленин А.В. и др. Роль обработки, культурных растений и почвенной фауны в гумусообразовании. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2008. № 1. С. 8–15.

6. Чернышова Н.М., Балабанов С.С., Картамышев Н.И. и др. Плодородие и обработка почвы. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2009. № 5. С. 48–51.

7. Медведєв В.В., Балюк С.А. Охорона ґрунтів в умовах земельної реформи. 2003. Вип. 27. С. 116–119.

8. Юркевич Є.О., Коваленко Н.П., Бакума А.В. Агробіологічні основи сівозмін Степу України. Одеса: Одеське видавництво «ВМВ», 2011. 240 с.

9. Соколова Т.А., Трофимов С.Я. Сорбционные свойства почв. Адсорбция. Катионный обмен: учебное пособие по некоторым главам химии почв. Тула: Гриф и К. 2009. 172 с.

10. Чорний С.Г. Основи агрономічної хімії: навчальний посібник. Миколаїв: МНАУ. 2020. 284 с.

11. Roncero-Ramos B., Román J. R., Gómez-Serrano C., Cantón Y., Acién F.G. Production of a biocrust-cyanobacteria strain (*Nostoc commune*) for large-scale restoration of dryland soils. *Journal of Applied Phycology*. 2019. № 31. P. 2217–2230.

12. Медведєв В.В. Фермеру про ґрунто- і ресурсозбережувальні інновації з обробітку. Харків: Смуґаста типографія, 2015. 200 с.

13. Hakansson I. Machinery-induced compaction of arable soils. Incidence-consequences-counter measures. Swedish University of Agricultural Sciences/ Report of Soils Sciences Department, 2005. V. 109. 153 pp.

14. Tijink F.G.J., van den Linden. Engineering approaches to prevent subsoil compaction in cropping system with sugar beet. *Advances in Geocology*, 2001. V. 32. P. 442–452.

15. Janulevičius, A., Giedra, K. Tractor ballasting

in field transport work. *Transport*, 2005. V. 20. № 4. P. 146–153.

16. Bulgakov V., Nadykto V., Kyurchev S., Nesvidomin V., Ivanovs S., Olt J. Theoretical background for increasing grip properties of wheeled tractors based on their rational ballasting. *Agraarteadus*, 2019. V. 30. Is. 2. P. 78–84.

17. *Тракторы: Теория* / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; под общ. ред. В.В. Гуськова. Москва: Машиностроение. 1988. 376 с.

18. Nadykto V., Arak M., Olt J. Theoretical research into the frictional slipping of wheel-type undercarriage taking into account the limitation of their impact on the soil. *Agronomy Research*, 2015. V. 13. P. 148–157.

19. Nadykto V., Kurchev V., Beloev H., Mitev G. Determination of the Maximum Allowable Slipping of the Wheel Tractors. *Agricultural, Forest and Transport Machinery and Technologies*, 2017. V. IV. Is. 1. P. 63–69.

20. Bulgakov V., Aboltins A., Beloev H., Nadykto V., Kyurchev V. Maximum Admissible Slip of Tractor Wheels Without Disturbing the Soil Structure. *Applied Science*, 2021. V. 11. P. 1–10.

21. *Надыкто В.Т.* Перспективное направление создания комбинированных и широкозахватных МТА. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2008. № 3. С. 26–30.

22. Bulgakov V., Pascuzzi S., Nadykto V., Ivanovs S., Adamchuk V. Experimental study of the implement-and-tractor aggregate used for laying tracks of permanent traffic lanes inside controlled traffic farming systems. *Soil and Tillage Research*, 2021. V. 208, 104895.

23. *Надыкто В.Т., Улексин В.О.* Мостова та колійна системи землеробства. Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2008. 270 с.

24. *Овсинский И.Е.* Новая система земледелия. Москва, 1909. 97 с.

25. *Адамчук В.В., Булгаков В.М., Танчик С.П., Надыкто В.Т.* Сучасні проблеми оранки як особливого прийому обробітку ґрунту. *Вісник аграрної науки*, 2016. № 1. С. 5–10.

26. *Теория, конструирование и расчет сельскохозяйственных машин* / Е.С. Босой, О.В. Верняев, И.И. Смирнов и др.; под ред. Е.С. Босого. Москва: Машиностроение, 1977. 568 с.