

## АДАПТАЦІЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧІВ ДО ОБРОБІТКУ ВАЖКИХ ПЕРЕУЩІЛЬНЕНИХ ГРУНТІВ

Лещенко С.М., канд. техн. наук, доцент

Центральноукраїнський національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-9339-4691>

**Анотація:** Розглянуто проблему адаптації конструктивно-технологічних параметрів комбінованих глибокорозпушувачів до обробітку важких переущільнених ґрунтів. Обґрунтовано роль ефекту Ребіндера та моделі Максвелла-Кельвіна у виборі раціональної швидкості агрегату. Запропоновано принцип спеціалізації деформаторів із виділенням трьох функціональних зон взаємодії робочого органу з ґрунтом, що реалізує ефект «каскадного руйнування».

**Ключові слова:** глибокорозпушувач, переущільнений ґрунт, тяговий опір, реологічні властивості, чизельна лапа, деформатори ґрунту

**Постановка проблеми.** Інтенсифікація агровиробництва сформувала негативну закономірність, за якою понад 65% орних угідь мають підвищену щільність підорного горизонту, що на 15...25% перевищує допустимі показники [1]. Найбільш переущільнений горизонт ґрунту розміщується на глибині 25...45 см і є механічною перешкодою як для розвитку кореневої системи рослин, так і для фільтрації ґрунтової вологи та газообміну. Прямим наслідком наведеної проблеми є зниження врожайності на 20...35% порівняно з якісно підготовленим ґрунтом [2]. Додатковим негативним фактором є систематична перевантаженість, адже більшість агрегатів здійснюють повторні проходи по одних і тих самих полях, формуючи «технологічну підошву». Саме тому проблема адаптації конструктивно-технологічних параметрів глибокорозпушувачів до умов обробітку важких ґрунтів набуває важливого науково-практичного значення.

**Виклад основного матеріалу досліджень. Енергетичний вимір проблеми.** Принциповою відмінністю обробітку переущільнених ґрунтів є різке зростання питомої роботи, що слід витратити на руйнування необроблених монолітів [2, 3]. Дослідження підтверджують, що питома робота плуга при оранці піщаних ґрунтів становить  $30 \pm 5$  кДж/м<sup>3</sup>, тоді як на важкоглинистих цей показник зростає до  $120 \pm 20$  кДж/м<sup>3</sup>. При переході до чизельних глибокорозпушувачів відповідні показники знижуються до  $20 \pm 4$  кДж/м<sup>3</sup> та  $80 \pm 10$  кДж/м<sup>3</sup> відповідно, що підтверджує 1,5-кратну перевагу безполицевого обробітку з точки зору енерговитрат. Проте навіть наведені показники підтверджують, що основний обробіток залишається однією із найбільш енергозатратних операцій. Класичні чизельні знаряддя, що працюють на глибині 35...40 см в умовах переущільнення, формують питомий тяговий опір на рівні 30...45 кН/м<sup>2</sup>, і для їх ефективної роботи, враховуючи ширину захвату серійних агрегатів необхідні трактори потужністю понад 200 к.с. Між тим статистика свідчить, що середня потужність тракторів у

вітчизняних господарствах становить 100...150 к.с. Це протиріччя і є тією точкою, де конструктивно-технологічна адаптація глибокорозпушувачів із теоретичної задачі перетворюється на прикладну.

*Фізико-механічне підґрунтя адаптації.* Розробка конструкцій робочих органів неможлива без розуміння природи опору переущільненого ґрунту. Аналіз структури загальних витрат енергії підтверджує, що 40...50% витрат формується за рахунок опору деформації та руйнування суцільного ґрунтового середовища, 30...40% – через тертя робочих поверхонь, 10...15% – прискоренням ґрунтових агрегатів і лише 5...10% – подрібненням грудок [3]. Подолання першої та другої складових є бажаним напрямом зниження загальної енергоємності. Важливу роль тут відіграє ефект Ребіндера – адсорбційне зниження міцності ґрунту при оптимальній вологості. Для типових чорноземів для вологості 20...24% зчеплення між агрегатами знижується на 25...30%. Врахування цього явища є технологічним параметром адаптації – вибором часу проведення обробітку. Поведінку ґрунту під навантаженням від рухомого робочого органу описує модель Максвелла-Кельвіна, яка розкладає загальну деформацію на пружну, в'язку та пластичну. Для ефективного розпушування цільовою є пластична компонента, тоді як в'язка складова зростає із підвищенням робочої швидкості, формуючи квадратичне зростання опору. Це і обумовлює рекомендацію обмеження швидкості роботи в ускладнених умовах на рівні 8...9,5 км/год.

*Спеціалізація функцій деформаторів як ключова ідея.* Найбільш продуктивним напрямом адаптації є принцип спеціалізації деформаторів, тобто чіткого розмежування функцій між окремими елементами відповідно до зони і характеру ґрунтового середовища, в якому вони працюють. Для цього взаємодію чизельної лапи з важким ґрунтом розділимо на три зони [3]:

- Зона I – первинне руйнування – долото рухається в незрушеному пружно-пластичному середовищі на максимальній глибині, де домінують сколювання та зріз. Рациональна форма долота визначається умовою мінімізації напружень при максимальному поширенні тріщин.
- Зона II – розсування та відведення – стояк і зуб взаємодіють із ґрунтом за умов високого латерального тиску. Стояк мінімізує лобовий опір а зуб відводить рештки й частково крупні грудки, знижуючи навантаження.
- Зона III – вторинне руйнування – крила, що закріплені на стояку обробляють уже попередньо зрушений ґрунт, тому їх опір суттєво нижчий за первинний.

Такий розподіл функцій дає змогу досягти ефекту «каскадного руйнування», коли кожен наступний елемент конструкції працює в полегшених умовах завдяки впливу попереднього, а загальний тяговий опір знижується без скорочення зони ефективного обробітку.

*Конструктивні елементи та їх параметрична адаптація.* Серійні комбіновані глибокорозпушувачі поєднують кілька груп функціональних елементів: основні робочі органи (лапи з прямим або криволінійним стояком для руйнування ущільненого шару), додаткові конструктивні елементи (крила, закрилки, дискові ножі, зуби для поліпшення якості розпушування та зниження тягового опору) та додаткові робочі органи (спарені котки, секції дисків тощо).

Під час адаптації кожного з робочих органів до важких ґрунтів важливо враховувати, що збільшення глибини обробітку повинно бути поступовим – на 3...5 см щороку. Спроба «одним проходом» зруйнувати ущільнену підшову призводить до прискореного зношення стояків та доліт і перевитрат палива.

Використання ґрунтообробних агрегатів підтверджує, що оптимізація конструкції глибокорозпушувачів за традиційними підходами (зменшення ширини захвату, застосування зносостійких матеріалів) дозволяє знизити енергоємність не більше ніж на 8...12%. Отже поєднання реологічно обґрунтованого вибору швидкості, геометрично адаптованих деформаторів та технологічно правильного строку обробітку ґрунту дозволять адаптувати агрегати до дійсних умов роботи.

**Висновки.** Отримані результати підтверджують, що підвищення ефективності обробітку важких переущільнених ґрунтів досягається не шляхом нарощування потужності агрегату, а завдяки науково обґрунтованій адаптації конструктивно-технологічних параметрів. Перспективними напрямками подальшого розвитку є розробка гібридних математичних моделей, що поєднують аналітичний і метод скінчених елементів (FEM); уточнення реологічних залежностей для ґрунтів при швидкостях деформації 2...3 м/с; проектування адаптивних систем регулювання глибини та кута атаки без підключення до зовнішньої гідравліки; дослідження форм долота та крил для ґрунтів різного гранулометричного складу. Реалізація цих завдань сприятиме створенню покоління енергоефективних комбінованих глибокорозпушувачів, здатних до збереження родючості ґрунтів, поліпшення їх структури і водночас вписуватись у технічні можливості різних за розмірами і фінансовими спроможностями агроформувань.

#### Список використаних джерел

1. Шевченко І.А. Керування агрофізичним станом ґрунтового середовища. Київ : Вініченко, 2016 . 320 с.
2. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / Сало В.М. та ін. Х.: Мачулін, 2016. 244 с.
3. Лещенко, С. М., Сало, В. М., Петренко, Д. І., & Мельніченко, В. А. (2025). Аналітичне обґрунтування основних параметрів комбінованого чизельного глибокорозпушувача. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 55, 225–237. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.225-237>.

**Abstract:** The problem of adapting the structural and technological parameters of combined deep-loosening implements to the tillage of heavy compacted soils is addressed. The role of the Rehbinder effect and the Maxwell–Kelvin rheological model in selecting the rational operating speed of the implement is substantiated. A principle of deforming-element specialisation is proposed, involving the identification of three functional zones of tool–soil interaction, which realises the effect of "cascade failure".

**Keywords:** deep loosening implement, compacted soil, draft resistance, rheological properties, chisel share, soil deforming elements.