

ВПЛИВ ХОДОВИХ СИСТЕМ НА УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ

Курской Володимир Сергійович

кандидат технічних наук, доцент
Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна
ORCID: 0000-0002-3929-884X
vk702713@gmail.com

Замойський Степан Михайлович

кандидат технічних наук, доцент
Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна
ORCID: 0000-0002-1612-6009
stepanzam@gmail.com

Білик Юрій Мирославович

кандидат технічних наук, доцент
Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна
ORCID: 0000-0002-3808-4583

Герасименко Владислав Олександрович

кандидат фізико-математичних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна
ORCID: 0000-0001-5875-8517
Vladzaoch@ukr.net

Перникоза Андрій Васильович

студент, спеціальність 208 «Агроінженерія»
Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна
ORCID: 0000-0001-5218-1104
avpernykoza@meta.ua

На сьогоднішній день при вирощуванні сільськогосподарських культур однією з найважливіших проблем, що стоять перед сільськогосподарським виробництвом, є зменшення затрат на виробництво продукції, і збільшення продуктивності машин – тракторних агрегатів. Цього можна досягти за рахунок удосконалення конструкційних елементів тракторів і автомобілів, задіяних на виробництві. Зокрема підвищення тягово-енергетичних властивостей та зниження впливу колісних рушіїв енергонасичених тракторів на ґрунт.

В процесі обробки машини – тракторним агрегатом необхідно проїжджати по одному й тому ж сліду 6-7 раз. Площа їх слідів може досягати 13–14% площі поля, якщо врахувати тільки гусениці чи колеса трактора і не враховувати тиску на ґрунт коліс сільськогосподарських машин і секцій робочих органів. Безумовно дія ходових систем тракторів і робочих органів змінює стан і структуру ґрунту, погіршує рельєф поля, зменшує родючість ґрунту і урожайність продукції за рахунок переущільнення, а також збільшує питомі витрати палива. Тому, використання комбінованих машин та агрегатів при сучасній технології обробки рядків рослин дозволить скоротити число їх проходів по одному ж і тому ж місці поля, скоротить розриви в часі між виконанням технологічних операцій, зменшить енергетичні витрати та одночасно – ущільнення ґрунту. Вирішення цієї проблеми потребує широкого впровадження систем автоматизованого проектування, що дозволяють вже на стадії проектування прогнозувати тягово-зчпні, паливо-економічні та агротехнологічні властивості МТА. Тягово-енергетичні показники колісних сільськогосподарських тракторів, рівень впливу рушіїв на ґрунт значною мірою визначаються досконалістю пневматичних шин. Пошук оптимальних параметрів пневматичних шин, узгодження характеристик колісних рушіїв з параметрами та умовами експлуатації МТА вимагають вирішення таких основних завдань. По-перше, розробки аналітичних залежностей, що описують процес взаємодії еластичних коліс із ґрунтовою основою залежно від режиму кочення колеса. По-друге, доведення до інженерного рівня методики розрахунку та аналізу системи колісний рушій – ґрунт. По-третє, суміщення технологічних операцій, що співпадають по агротехнічних строках їх виконання з метою зменшення часу та інтенсивності дії рушіїв на ґрунт.

Ключові слова: ґрунт, колесо, ущільнення ґрунту, ходова система, прохідність, буксування, колісний рушій.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.1.3>

Вступ. Аналіз різних способів обробки рядків рослин показує, що на сьогодні це самий трудомісткий процес. Встановлено, що при вирощуванні сільсько-

господарських культур 24–27 технологічних операцій виконуються мобільними агрегатами в полі. Площа їх слідів становить 100–200 % від площі поля. Технологія

догляду рослин, особливо, в початковий період їх розвитку складається з багатократних проходів агрегата по полю. Під дією гусеничних рушіїв відбувається деформація ґрунту та утворюються сліди. Колеса і гусениці машин деформують ґрунт ущільнюючи і розпилюючи його та утворюючи сліди. Наслідком цього є зниження урожайності сільськогосподарських культур, погіршення структури ґрунту, вітрової і водної ерозії, збільшення затрат енергії і палива на обробіток ущільненого ґрунту. Фізико-механічними властивостями ґрунту є його структурний стан, щільність, твердість, пористість (загальна, міжагрегатна і окремих агрегатів). Від цих властивостей залежить водо- і повітропроникність волого- і повітроємність. Вони визначають потенціальну і ефективну родючість ґрунту. В результаті маємо середнє зниження урожайності сільськогосподарських культур на 15–25% та після роботи трактора МТЗ-80 на 1га поля 14–15 т пилу. Збільшення питомого опору ґрунту, затрат енергії на його обробіток і витрати палива досягають 18%. (Замойський, 1994; Водяник, 1990; Водяник, 1994). Особливе місце серед способів зниження шкідливої дії ходових систем на ґрунту займає поліпшення показників взаємодії коліс і гусениць із ґрунтом оскільки воно впливає ще й на тягово-зчіпні властивості тракторів.

Матеріали і методи досліджень. Вплив ущільнення ґрунту досліджувався на основі проведеного аналізу науково-технічної інформації з метою зменшення шкідливої дії машинно-тракторних агрегатів на ґрунт і збільшення урожайності.

Результати досліджень. Всі способи зниження рівня шкідливої дії машин на ґрунт можна умовно поділити на три групи: агротехнічні, технологічні і конструктивні. Впровадження агротехнічної системи дозволяє не тільки підвищити врожайність сільськогосподарських культур, але й знизити енергетичні і трудові затрати шляхом зменшення кількості і глибини обробітку ґрунту, виконання кількох операцій за один прохід агрегату або машини і застосування пестицидів (Замойський, 1994; Водяник, 1990; Водяник, 1994). Виконаний аналіз існуючих моделей контактної взаємодії шини та опорної поверхні вказує на необхідність створення узагальнюючої математичної моделі, яка б охоплювала якомога більше параметрів, що впливають на деформацію шини під дією навантаження (Андреев, 1998; Возняк, 2003; Надикто, 2006).

Встановлені оптимальні параметри найважливіших фізичних властивостей ґрунту. Так, оптимальними вважаються щільності 1–1,3 г/см³ (суглинкових і глинистих ґрунтів), 1,1–1,4 (легкосуглинкових) і 1,2–1,45 г/см³ (супіщаних).

ґрунту ущільнюється під дією напруг, які виникають в його масиві. Значення напруг і закономірностей їх розподілу по масиву залежать від процесів взаємодії колеса і гусениці з ґрунтом, які можна уявити як одночасне деформування і відновлення деформацій контактуючих тіл (Водяник, 1994; Возняк, 2003).

Для розрахунку напруг у будь-якій точці поперечного (по відношенню до сліду) перетину масиву ґрунту можуть бути використані відомі рівняння механіки ґрун-

тів, які після перетворень, що мають мету замінити кутові координати лінійними, приймають вигляд (Замойський, 1994; Водяник, 1990):

$$G_z = \frac{G_m}{\pi} \left(\frac{zx_1}{z^2 + x_1^2} + \operatorname{arctg} \frac{x_1}{z} - \frac{zx_2}{z^2 + x_2^2} - \operatorname{arctg} \frac{x_2}{z} \right). \quad (1)$$

$$G_x = \frac{G_m}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{x_1}{z} - \frac{zx_1}{z^2 + x_1^2} + \frac{zx_2}{z^2 + x_2^2} - \operatorname{arctg} \frac{x_2}{z} \right) \quad (2)$$

де G_z , G_x – напруги, що діють за напрямками відповідних осей координат; G_x – максимальний розрахунковий контактний тиск; $x_1 = x + 0,5B$, $x_2 = x - 0,5B$; z , x – відповідно вертикальна і горизонтальна координати точки в якій визначається напруга відносно середини профілю сліду; B – ширина сліду.

Одиничний об'єм ґрунту з вихідною щільністю ρ_n , взятий у даній точці його масиву, після проходження колеса або гусениці зміниться до значення ρ'_n

$$\rho'_n = \frac{\rho_n}{(1 - \varepsilon_z)(1 - \varepsilon_x)(1 + \varepsilon_y)} K_b \quad (3)$$

де ε_z , ε_x , ε_y – відносні деформації одиничного об'єму ґрунту вздовж відповідних осей координат; K_b – коефіцієнт збільшення об'єму, зумовленого пружними властивостями ґрунту. Оскільки пружні деформації ґрунту становлять 0,7–3%, то, припустивши, що вони відновлюються в усіх напрямках однаково, $K_b = 1,02 - 1,09$.

Для розрахунків відносних деформацій одиничного об'єму можна користуватися рівнянням теорії пружності, пластичності і повзучості.

$$\varepsilon_z = \frac{(G_z - \xi_{zG_x})}{E_2} \quad (4)$$

$$\varepsilon_x = (G_x - \xi_{xG_z}) / E_2$$

$$\varepsilon_y = (G_y - G_x) / E_2$$

де E_2 – модуль деформації ґрунту, а ξ_z – коефіцієнт його поперечного розширення.

Коефіцієнт ущільнення ґрунту K_p , розраховують за формулою:

$$K_p = \frac{1}{(1 - \varepsilon_z)(1 - \varepsilon_x)(1 + \varepsilon_y)} K_b \quad (5)$$

Наведена методика розрахунку ущільнення ґрунту може використовуватися і для аналізу випадків багаторазових проходів коліс по одному сліду, а також утворення паралельних слідів.

На підставі даних про вплив ущільнення ґрунту урожайність сільськогосподарських культур існують загальні напрямки удосконалення машинно-тракторних агрегатів і систем обробітку ґрунту, які дозволяють знизити шкідливу дію ходових систем на ґрунт.

У нашій країні розвиток мінімального обробітку ґрунту здійснюється у трьох напрямках: заміна традиційного глибокого обробітку ґрунту поверхневим, часткова

або повна заміна деяких видів механічного обробітку внесенням гербіцидів для знищення бур'янів, одночасне виконання кількох технологічних операцій за один прохід з використанням комбінованих ґрунтообробних і посівних агрегатів. Це дозволяє істотно зменшити кількість проходів машин по полю. До числа агротехнічних прийомів також відносяться розпушування ґрунту у слідах коліс і підорного шару.

До технологічних способів зниження шкідливої дії ходових систем на ґрунт належать: використання широкозахватних агрегатів; вибір таких способів руху, за яких площа ущільненої поверхні мінімальна; впровадження у сільськогосподарське виробництво мостового землеробства, селекційних мобільних енергетичних засобів, модульного агрегування і використання агрегатів з робочими органами – рушіями. Із збільшенням ширини захвату МТА і довжини гону площа ущільненої колесами і гусеницями поверхні поля зменшується. Раціональним для передпосівного обробітку є човниковий спосіб руху агрегату, при якому кожний наступний заїзд виконується поряд з попереднім. При такому способі руху агрегату довжина шляху на поворотній смугі мінімальна. Крім того рівномірно обробляються поля, не утворюються вузькі смуги або клини, що потребують додаткових заїздів.

Вже сьогодні широко застосовуються елементи агропромислової технології при певних умовах: маршрутизація руху сільськогосподарського агрегату і технологічного транспорту по постійних напрямних доріжках протягом усього сезону вирощування і збирання сільськогосподарських культур; обробка тільки зони розміщення рослин; наявність єдиного енергетичного модуля для виконання комплексу сільськогосподарських робіт при вирощуванні і збиранні; перехід до єдиної базової колії агрегату і транспортних засобів для різних просапних культур.

Зниженню рівня шкідливої дії ходових систем МТА на ґрунт і підвищенню ефективності використання його родючості, а також генетичного потенціалу рослин сприяє застосуванню інтенсивних технологій вирощування озимих культур, ярої пшениці, кукурудзи. Вони передбачають, використання технологічної колії, по якій переміщуються всі агрегати.

Останнім часом у зв'язку із збільшенням маси тракторів і підвищенням рівня шкідливої дії їх ходових систем на ґрунт, ставиться під сумнів перспективність цих машин. Розвиток технічного забезпечення сільського господарства базується на застосуванні широкозахватних агрегатів. Збільшення ширини захвату причіпних машин призводить до збільшення їх конструктивних мас. Збільшення конструктивних мас сучасних МТА в свою чергу викликає збільшення питомих тисків на опорну поверхню, що в свою чергу призводить до ущільнення ґрунту та його руйнування при перевищенні певного критичного значення.

Негативна дія на ґрунт з боку ходових систем призводить до зниження продуктивності сільськогосподарських

культур (Замойський, 1994; Водяник, 1990; Водяник, 1994).

Обговорення. Аналіз робіт багатьох вчених показав, що використовуючи меншу кількість проходів агрегата можна зменшити щільність ґрунту, що підвищуватиме його родючість і урожайність. В результаті досліджень дії ходових систем на ґрунт не дають однозначної відповіді на зв'язок параметрів і режимів їхньої роботи зі змінами властивостей ґрунту;

– не дозволяють визначити вплив параметрів і режимів роботи рушія на ґрунт у зв'язку з недостатньою адекватністю отриманих залежностей;

– у наведених роботах відсутня інформація про визначення розподілу тиску (для динамічних початкових умов) або розподілу переміщень в зоні контакту колеса з ґрунтом. Тому в основу роботи покладено дослідження, спрямовані на взаємозв'язки параметрів і режимів роботи привідного колеса, його геометричних і механічних властивостей, а також властивостей ґрунту з абсолютними деформаціями як ґрунту, так і колеса. (Замойський, 1994; Водяник, 1990; Возняк, 2003; Надикто, 2006, Адамчук, 2020)

Процеси взаємодії колеса з опорною поверхнею безпосередньо впливають на техніко-експлуатаційні показники роботи МТА. Побудова ефективних алгоритмів керування потребує математичних моделей взаємодії колеса з опорною поверхнею, які б в повній мірі описували б даний процес та враховували всі можливі аспекти такої взаємодії.

Висновки. Під час вирощування різних сільськогосподарських культур технологічний процес обробітку ґрунту чи рослин відбувається під час руху по полю машинно-тракторних агрегатів. Під час виконання машинно-тракторними агрегатами технологічних операцій їхні ходові системи перекочуються по ґрунту і в цей час відбувається контакт коліс з ґрунтом. Під час дії ходових систем на ґрунт відбувається деформація ґрунту і ущільнення останнього. Це негативно впливає на зміну структури ґрунту, і виникає явище переущільнення.

Переущільнення – основна причина зниження родючості ґрунтів і врожайності сільськогосподарської продукції. Ущільнюють ґрунт машини в першу чергу за рахунок збільшення кількості проходів по полю. Також сильно ущільнює ґрунт внесення пестицидів для захисту рослин, так зване хімічне ущільнення ґрунту.

Також переущільнення ґрунту змінює його структурний стан, що впливає на умови росту рослин. Встановлено, що при багатократних проходах машин, що виконують одну операцію вони ущільнюють ґрунт до $1,4\text{г/см}^3$ і відповідно втрачається урожайність різних культур. Для зменшення негативного впливу на ґрунт необхідно визначати оптимальні конструкційні параметри колісних і гусеничних рушіїв машинно-тракторних агрегатів.

Бібліографічні посилання:

1. Zamoysky, S. (1994) Obhruntuvannia tekhnolohichnoho protsesu i parametriv robochikh orhaniv lia obrobittku zakhysnykh zon riadkiv tsukrovnykh buriakiv [Substantiation of technological process and parameters of working bodies for cultivation of protective zones of sugar beet rows] PhD dissertation. Kamyanetz-Podilskiy derzhavnyj aharno-tekhnichnyj universytet (in Ukrainian).

2. Vodianyuk I. (1990). *Vozdeystvie hodovyih sistem na pochvu* [The impact of running systems on the soil] Moscow : Agropromizdat, 1990. P. 172.
3. Vodianyuk I. (1994). *Ekspluatatsiini vlastyivosti traktoriv i avtomobiliv* [Performance properties of tractors and cars] Kyiv : Uroshaj, p. 224. (in Ukrainian)
4. Andreiev O. (1998). *Modeliuvannia gruntu dlia potreb realizatsii vibratsiinykh tekhnolohii v zemlerobstvi* [Soil modeling for the needs of vibration technologies in agriculture] O. Andreiev, M. Kyzyma. *Collection of scientific works of Podolsk State Agrarian and Technical University*, 6, pp. 74–76. (in Ukrainian)
5. Vozniak V. (2003). *Teoretychni doslidzhennia vzaiemodii kolis z hruntom* [Theoretical studies of the interaction of wheels with the ground] *Collection of scientific works of Podolsk State Agrarian and Technical University*, 11, pp. 343–345. (in Ukrainian)
6. Nadykto V. (2006). *Perspektyvy vprovadzhennia koliinoi systemy zemlerobstva na Ukraini* [Prospects for the implementation of the track system of agriculture in Ukraine] *Scientific Bulletin of the National Agrarian University*. 2006. 92. C. Pp 38–43. (in Ukrainian)
7. Adamchuk V. (2020). *Doslidzhennia vlastyvostei postiinoi tekhnolohichnoi kolii, yaku vykorystovuiut pry mostovomu zemlerobstvi* [Research of properties of a constant technological track which is used at bridge agriculture] Bulhakov V., Kuvachov V., Holovach I., Ihnatiev Ye., Chernysh O. *Bulletin of Agricultural Science*. 2020. No 8. Pp. 62–68. doi: 10.31073/agrovisnyk 2020 (in Ukrainian)

Kurskoy V.S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine

Zamoyskiy S.M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine

Bilyuk Yu.M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine

Gerasymenko V.O., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Pernykoza A.V., Student, Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine

Influence of running systems on soil compaction

Today, when growing crops, one of the most important problems facing agricultural production is to reduce production costs and increase the productivity of machine – tractor units. This can be achieved by improving the structural elements of tractors and cars involved in production. In particular, increasing the traction and energy properties and reducing the impact of wheeled propulsion of energy-intensive tractors on the ground.

In the course of processing of cars – tractor units it is necessary to pass on the same track 6-7 times. The area of their tracks can reach 13–14 % of the field area, if only the tracks or wheels of the tractor are taken into account and the pressure on the ground of the wheels of agricultural machines and sections of working bodies is not taken into account. Of course, the action of the running systems of tractors and implements changes the condition and structure of the soil, degrades the terrain, reduces soil fertility and yield due to compaction, as well as increases the specific fuel consumption. Therefore, the use of combined machines and units with modern technology of cultivation of plant rows will reduce the number of their passes in the same place of the field, reduce the time gaps between technological operations, reduce energy costs and at the same time – soil compaction. The solution to this problem requires the widespread introduction of computer-aided design systems that allow already at the design stage to predict traction, fuel and economic and agro-technological properties of AIT. Traction and energy performance of wheeled agricultural tractors, the level of impact of engines on the ground is largely determined by the perfection of pneumatic tires. Finding the optimal parameters of pneumatic tires, matching the characteristics of wheeled engines with the parameters and operating conditions of the AIT require the solution of such basic tasks. First, the development of analytical dependencies that describe the process of interaction of elastic wheels with the soil base depending on the mode of wheel rolling. Secondly, bringing to the engineering level the method of calculation and analysis of the wheel drive system – soil. Third, the combination of technological operations that coincide in agro-technical terms of their implementation in order to reduce the time and intensity of the action of the engines on the ground.

Key words: soil, wheel, soil compaction, running system, passability, skidding, wheel drive.