Канівець О.В.
к.т.н., доцент

Дудник В.В.
к.т.н., доцент

Шкляр Ю.В.
здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії

Віланов О.С.
здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії

Полтавський державний аграрний університет

Kanivets O.
Ph.D., Associate Professor

Dudnyk V.
Ph.D., Associate Professor

Shkliar Y.
postgraduate student

Vilanov O.
postgraduate student

Poltava State Agrarian University

УДК 621.7
DOI: 10.37128/2306-8744-2025-1-11

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ЗНОСОСТІЙКОСТІ ҐРУНТООБРОБНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

Важливою задачею сільськогосподарського машинобудування та ремонтного виробництва є підвищення надійності робочих органів сільськогосподарських машин. У роботі наведено результати досліджень із вирішення даної задачі, що спрямовані на підвищення міцності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин.

Одним із ключових аспектів дослідження є визначення напружень, що впливають на характеристики міцності та підвищену працездатність робочих органів. Такий підхід дозволяє більш точно прогнозувати їх довговічність та оптимізувати конструкцію для підвищення терміну експлуатації.

Дослідження нових лемешів товщиною 12,5 мм із сталі 65Г та відновлених приварюванням шин із сталі 45 із наплавленням сормайтом і вібраційним зміцненням на міцність проведено в господарствах Полтавської області на швидкості оранки 1,5…2,2 м/с. У нових лемешів прослідковувались незначні деформації. Відновлені лемеші не мали деформацій. При цьому зусилля на носку лемеша, за стандартних умов експлуатації, становило 1500…2000 Н. Середні експлуатаційні напруження в критичному перерізі лемеша коливалися в межах 250-320 МПа, що значно нижче за граничні значення текучості та витривалості для сталі 65Г. Аналогічні дослідження проведено для стрілчастих лап культиватора та дисків сошників. Під час розрахунків отримано емпіричні залежності для визначення товщини робочих органів ґрунтообробних машин для оптимізації конструкцію та підвищення довговічності.

Додатково проаналізовано залежність інтенсивності зношування, що дало змогу більш детально оцінити вплив різних чинників на міцність матеріалів. За результатами порівнянь з новими робочими органами встановлено, що відновлені елементи мають у 1,84…1,88 разів меншу швидкість зношування, що підтверджує ефективність використання вібраційного зміцнення. У результаті досліджень розроблено рекомендації щодо підвищення міцності матеріалів і методів обробки робочих органів для підвищення їх ресурсу та ефективності роботи.

Ключові слова: *зносостійкість, ріжучий елемент, міцність, експлуатаційні напруження, тяговий опір, швидкість зношування.*

Постановка проблеми. У процесі обробки тиском зі збільшенням рівня деформації спостерігається підвищення показників міцності матеріалу, що сприяє підвищенню його зносостійкості. Одним із ключових завдань у галузі сільськогосподарського машинобудування та відновлювального виробництва є покращення експлуатаційних характеристик ріжучих частин ґрунтообробних робочих органів шляхом підвищення їх міцності та стійкості до зношування. У зв'язку з цим вивчення даної

проблеми набуває особливої актуальності та необхідності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дану проблему можливо вирішити завдяки використанню методів зміцнення в процесі виробництва і ремонту робочих органів, що сприяє зниженню впливу тертя під час переміщення ґрунтового шару їхньою поверхнею. Як зазначається в джерелі [1], подібного ефекту можна досягти шляхом нанесення хромового покриття на робочі частини деталей. Проте, такий підхід вимагає значних фінансових вкладень.

У наукових джерелах [2, 3] наводяться відомості про розробку тришарових лемешів, що не набули широкого поширення через їхню високу вартість та обмежений термін служби. Основною ціллю під час ремонту робочих органів ґрунтообробної техніки є підбір оптимального технологічного методу, що забезпечуватиме відновлення необхідних геометричних характеристик і підвищуватиме їх стійкість до спрацьовування.

Згідно з інформацією [4] існує метод відновлення лемешів шляхом наклепування додаткових пластин. Однак цей спосіб вирізняється недостатньою стійкістю під час експлуатації в умовах ударних навантажень.

У наукових публікаціях описуються методи лазерного зміцнення поверхонь робочих елементів ґрунтообробних машин [5]. Але дослідники підкреслюють, що для вивчення впливу лазерної обробки на такі поверхні необхідні додаткові теоретичні та практичні дослідження.

Існують й інші способи підвищення довговічності таких деталей, але вони, поки що, перебувають на етапі експериментальної перевірки та передбачають використання складного і дорогого обладнання.

Мета дослідження. Аналіз напружень, що впливають на робочі елементи ґрунтообробної техніки, та дослідження їх ролі в оцінці міцності та стійкості до зношування.

Результати досліджень. Оцінку міцності робочих елементів виконували шляхом визначення напружень у найбільш критичних перерізах. Наприклад, для лемеша плуга і лапи культиватора такою ділянкою вважається зона біля першого кріпильного отвору, що розташований найближче до краю. Для дискових елементів, як-от диски сошників зернових сівалок, небезпечним перерізом є ділянка в місці з'єднання з валом.

Розрахунок міцності лемешів плуга виконано з урахуванням відомих закономірностей [6]. Напруження, що діють у небезпечному перерізі, обчислюються відповідно до формули:

$$\sigma = \frac{Q \cdot a}{W_x}, \quad (1)$$

де: Q – зосереджене навантаження;

a – згинальне плече;

W_x – момент опору перерізу лемеша в небезпечному перерізі, що дорівнює:

$$W_x = \frac{h^2 \cdot b}{6}, \quad (2)$$

де: h – товщина лемеша;

b – ширина лемеша в небезпечному перерізі.

Основним джерелом згинальних напружень у критичному перерізі лемеша плуга є сила Q, що діє на його носок. Із виразу (1) дане зусилля розраховується за наступною формулою, що враховує дані про фізико-механічні характеристики матеріалу:

$$Q = \frac{W_x \cdot \sigma}{a}. \quad (3)$$

Згинальне плече a визначено як відстань від носка лемеша до центру першого кріпильного отвору. Для всіх варіантів розглянутих лемешів воно становило 250 мм.

Характеристики міцності трапецієподібних лемешів, виготовлених зі сталі 65Г, було досліджено в господарствах Полтавської області за швидкості оранки 1,5-2,2 м/с. У нових лемешів зі сталі 65Г товщиною 12,5 мм деформації були незначними. Лемеші, що відновлені приварюванням шин зі сталі 45 з наплавленням сормайтом і вібраційним зміцненням, не мали деформацій. Зусилля, що діє на носок лемеша за стандартних умов експлуатації, становило 1500-2000 Н, а середні експлуатаційні напруження в критичному перерізі лемеша завтовшки 12,5 мм коливалися в межах 250-320 МПа, що значно нижче за граничні значення текучості та витривалості для сталі 65Г.

Схожі розрахунки для стрілчастої лапи культиватора показують, що середні експлуатаційні напруження в критичному перерізі варіюються в межах 80-110 МПа. Аналогічний розрахунок для дисків сошників зернових сівалок показує, що максимальні напруження, які виникають у зонах «загортання дисків» та перебувають у межах 240-300 МПа.

Дослідженнями встановлено, що звичайні експлуатаційні напруження для всіх основних типів ґрунтообробних машин не перевищують 300 МПа, що є значно нижчим за межу витривалості матеріалу, яка становить 600-650 МПа. Це підтверджує, що конструкції машин в умовах експлуатації перебувають у межах безпечних навантажень.

Для забезпечення високої міцності та низької інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин важливим аспектом є правильний вибір товщини матеріалу. Вона повинна визначатися на основі науково обґрунтованих розрахунків, заснованих на характеристиках міцності та умовах експлуатації [7].

У результаті досліджень отримано емпіричні залежності для розрахунку товщини робочих органів ґрунтообробних машин, що дає змогу оптимізувати їх конструкцію та підвищити довговічність у процесі експлуатації.

Для лемешів плугів:

$$h = \sum P^{max} \cdot \frac{2{,}5+0{,}002\,\sigma_B}{6\sigma_R}, \quad (4)$$

де: $\sum P^{max}$ – максимальний тяговий опір, що діє на корпус плуга;

σ_B – межа міцності сталі.

Для стрілчастих культиваторних лап:

$$h = \sum P^{max} \cdot \frac{2{,}5+0{,}002\,\sigma_B}{\sigma_R}, \quad (5)$$

Для дисків сошників зернових сівалок:

$$h = \sum P^{max} \cdot \frac{2{,}5+0{,}002\,\sigma_B}{1{,}3\sigma_R}, \quad (6)$$

Під час визначення величини зносу робочих органів ґрунтообробних машин необхідно враховувати кілька факторів. Важливими параметрами є питомий тиск, який чинить вплив на робочий орган, властивості ґрунту (наприклад, його вологість, густина і склад), а також характеристики матеріалу, з якого виготовлено робочий орган (наприклад, його твердість і зносостійкість). Також важливою величиною є напрацювання робочого органу, що відображає тривалість та інтенсивність експлуатації. Усі ці фактори взаємодіють і впливають на інтенсивність зносу, що має бути врахована під час проєктування та вибору матеріалів для робочих органів.

Проблема розрахунку робочих органів ґрунтообробних машин на міцність і зносостійкість є однією з найактуальніших для підвищення ресурсу техніки. У процесі експлуатації робочий орган піддається зношувальним навантаженням, які призводять до зношування матеріалу основи. Це, в свою чергу, може спричинити зростання згинальних напружень, що негативно позначається на міцності [8]. Проте методи зміцнення матеріалу робочих органів, такі як вібраційне зміцнення, сприяють зниженню подібних напружень і підвищенню загальної міцності.

Результати дослідження підтверджують, що вібраційне зміцнення значно підвищує зносостійкість ґрунтообробних робочих органів, наприклад, лемешів. Знос по ширині леза після 6 годин експлуатації лемешів, підданих вібраційному зміцненню, виявився в 1,74 разів меншим порівняно з новими зразками. Це явне підтвердження ефективності даного методу для підвищення довговічності та надійності робочих органів, що сприяє зниженню витрат на обслуговування і заміну компонентів. Таким чином, вібраційне зміцнення є перспективною технологією для підвищення ресурсу ґрунтообробних машин [9].

Результати вібраційного впливу підтверджують значне підвищення зносостійкості робочих органів. Зокрема, на 20-35% збільшується твердість обробленої поверхні леза лемеша із 480 Н/мм^2 до 570 Н/мм^2. Таке підвищення твердості сприяє зниженню інтенсивності зносу і збільшує термін служби робочої частини лемеша.

Експлуатаційні випробування показали, що швидкість спрацьовування леза та носка культиваторних лап, відновлених приварюванням пластин зі сталі 45 з наплавленням сормайтом і вібраційним зміцненням, у 1,84…1,88 разів менша порівняно з новими лапами. Проведені дослідження підтверджують ефективність таких технологій, як приварювання шин із подальшим вібраційним зміцненням для збільшення ресурсу робочих органів, що знижує витрати на ремонт і заміну деталей, а також підвищує продуктивність ґрунтообробних машин.

Висновки:

Проведений розрахунок на міцність дав змогу виявити небезпечні перерізи робочих органів ґрунтообробних машин, де найбільш вірогідніше виникнення пошкоджень або значного зносу. Це важливий етап у процесі розробки та вдосконалення конструкції машин, оскільки дає змогу вчасно виявити слабкі місця та вжити заходів для їх зміцнення.

Розрахунки дозволили оцінити міцнісні властивості небезпечних перерізів залежно від інтенсивності зношування ріжучих елементів, які були відновлені методом вібраційного зміцнення. У результаті порівняння з новими робочими органами встановлено, що відновлені елементи мають значно меншу швидкість зношування, що підтверджує ефективність вібраційного зміцнення як способу подовження терміну служби та підвищення надійності ґрунтообробних машин. Таким чином, подібні розрахунки відіграють ключову роль в оптимізації конструкції робочих органів, забезпечуючи їхню високу міцність і зносостійкість у процесі експлуатації.

Список використаних джерел

1. Аулін В.В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами: монографія. Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2017. 278 с.

2. Perez G., Gonzalez H., Toro A. Abrasive wear of rotary plow blades in a sandy loams soil. *Dyna rev.fac.nac.minas* [online]. 2010. Vol.77, № 162. P.105-114.

3. Hoormazdi G., Küpferle J., Röttger A., Theisen W., Hack K. A Concept for the Estimation of Soil-Tool Abrasive Wear Using ASTM-G65 Test Data. *International Journal of Civil Engineering*.

2019. № 17. P. 103-111: URL: https://doi.org/10.1007/s40999-018-0333-9.

4. Бойко О.І., Балабуха О.В. Дослідження форми природного зносу монометалевих лез ґрунтообробних машин. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2000. Вип. 6. С. 78-82.

5. Rogovskii I.L., Borak K.V., Maksimovich E.Yu., Smelik V.A., Voinash, S.A., Maksimovich, K.Yu., Sokolova, V.A. Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes T-series. *Journal of Physics: Conference Series*. (2020) 1679 (4), art. №. 042084.

6. Борак К.В. Зміна поверхневої твердості лемішно-лапових робочих органів ґрунтообробних машин в процесі експлуатації. *Біоресурси і природокористування*. 2020. Том 12(1-2). С. 90-96. DOI: http://dx.doi.org/10.31548/bio2020.01.011

7. Дудніков А.А., Дудник В.В., Бурлака О.А., Канівець О.В. Зміна характеристик матеріалу деталей при вібраційному зміцненні. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 4 (99). С. 21-28. DOI: 10.37128/2306-8744-2020-4-3

8. Козаченко О.В., Шкрегаль О.М., Каденко В.С., Блезнюк О.В. Польові випробування удосконалених культиваторних лап. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2019. №15. С. 31-39. URL: https://repo.btu.kharkov.ua//handle/123456789/3242

9. Дудніков А.А., Дудник В.В., Біловод О.І., Канівець О.В., Бурлака О.А. Підвищення ресурсу зернопосівних машин. *Інженерія природокористування*. 2021. № 4(18). С. 68-72. DOI: https://doi.org/10.37700/enm.2020.4(18).68-72

Reference

1. Aulin, V.V. (2017). Trybofizychni osnovy pidvyshchennya znosostiykosti i nadiynosti robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn z rizal'nymy elementamy: monohrafiya. Kropyvnyts'kyy: Lysenko V.F. [In Ukrainian].

2. Perez, G., Gonzalez, H., & Toro, A. (2010). Abrasive wear of rotary plow blades in a sandy loams soil. *Dyna rev.fac.nac.minas*. [online], 77 (62), 105-114.

3. Hoormazdi, G., Küpferle, J., Röttger, A., Theisen, W., & Hack, K. (2019). A Concept for the Estimation of Soil-Tool Abrasive Wear Using ASTM-G65 Test Data. *International Journal of Civil Engineering*, 17, 103-111. URL: https://doi.org/10.1007/s40999-018-0333-9.

4. Boyko, O.I., & Balabukha, O.V. (2000). Doslidzhennya formy pryrodnoho znosu monometalevykh lez gruntoobrobnykh mashyn. *Zbirnyk naukovykh prats' Kirovohrads'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannya, avtomatyzatsiya*, 6, 78-82. [In Ukrainian].

5. Rogovskii, I.L., Borak, K.V., Maksimovich, E.Yu., Smelik, V.A., Voinash, S.A., Maksimovich, K.Yu., & Sokolova, V.A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes T-series. *Journal of Physics: Conference Series*, 1679 (4), art. №. 042084.

6. Borak, K.V. (2020). Zmina poverkhnevoyi tverdosti lemishno-lapovykh robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn v protsesi ekspluatatsiyi. *Bioresursy i pryrodokorystuvannya*, Том 12(1-2), 90-96. [In Ukrainian].

DOI: http://dx.doi.org/10.31548/bio2020.01.011

7. Dudnikov, A.A., Dudnyk, V.V., Burlaka, O.A., & Kanivets', O.V. (2020). Zmina kharakterystyk materialu detaley pry vibratsiynomu zmitsnenni. *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*, 4 (99), 21-28. DOI: 10.37128/2306-8744-2020-4-3 [In Ukrainian].

8. Kozachenko, O.V., Shkrehal', O.M., Kadenko, V.S., & Bleznyuk, O.V. (2019). Pol'ovi vyprobuvannya udoskonalenykh kul'tyvatornykh lap. *Tekhnichnyy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv*, 15, 31-39. URL: https://repo.btu.kharkov.ua//handle/123456789/3242 [In Ukrainian].

9. Dudnikov, A.A., Dudnyk, V.V., Bilovod, O.I., Kanivets', O.V., & Burlaka, O.A. (2021). Pidvyshchennya resursu zernoposivnykh mashyn. *Inzheneriya pryrodokorystuvannya*, 4(18), 68-72. DOI: https://doi.org/10.37700/enm.2020.4(18).68-72 [In Ukrainian].

METHODS OF INCREASING THE STRENGTH AND WEAR RESISTANCE OF SOIL CULTIVATING WORKING BODIES

An important task in agricultural engineering and repair production is to improve the reliability of the working elements of agricultural machinery. This study presents the results of research aimed at enhancing the strength and wear resistance of tillage machine components.

One of the key aspects of the research is determining the stresses affecting the strength characteristics and increased durability of the working elements. This approach allows for more

accurate predictions of their longevity and optimization of the design to extend their service life.

The study of new plowshares with a thickness of 12.5 mm made of 65G steel, as well as restored plowshares with welded strips of 45 steel, surfacing with Sormite, and vibratory strengthening for durability, was conducted in farms of the Poltava region at a plowing speed of 1.5…2.2 m/s. The new plowshares exhibited minor deformations, whereas the restored ones showed no deformations. Under standard operating conditions, the force at the plowshare tip ranged from 1500 to 2000 N. The average operational stresses in the critical section of the plowshare ranged from 250 to 320 MPa, which is significantly lower than the yield strength and endurance limit of 65G steel. Similar studies were conducted for cultivator sweep shares and opener discs. Empirical dependencies were derived during the calculations to determine the optimal thickness of tillage machine components for improved design and increased longevity.

Additionally, an analysis of wear intensity dependencies was carried out, allowing for a more detailed assessment of the impact of various factors on material strength. The results of comparisons with new working elements revealed that the restored components exhibited a 1.84…1.88 times lower wear rate, confirming the effectiveness of vibratory strengthening. Based on the research findings, recommendations were developed to improve the strength of materials and processing methods for working elements, enhancing their lifespan and operational efficiency.

Keywords: *wear resistance, cutting element, strength, operational stresses, tensile resistance, wear rate.*

Відомості про авторів

Канівець Олександр Васильович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри механічної та електричної інженерії Полтавського державного аграрного університету (вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, e-mail: oleksandr.kanivets@pdau.edu.ua)

Дудник Володимир Васильович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри механічної та електричної інженерії Полтавського державного аграрного університету (вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, e-mail: volodymyr.dudnyk@pdau.edu.ua)

Шкляр Юрій Володимирович – здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії Полтавського державного аграрного університету (вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, e-mail: yurii.shkliar@pdau.edu.ua)

Віланов Олександр Сергійович – здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії Полтавського державного аграрного університету (вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, e-mail: oleksandr.vilanov@pdau.edu.ua)

Kanivets Oleksandr – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanical and Electrical Engineering, Poltava State Agrarian University (1/3 Skovoroda St., Poltava, 36003, e-mail: oleksandr.kanivets@pdau.edu.ua)

Dudnyk Volodymyr – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanical and Electrical Engineering, Poltava State Agrarian University (1/3 Skovoroda St., Poltava, 36003, e-mail: volodymyr.dudnyk@pdau.edu.ua)

Shkliar Yurii – postgraduate student of Poltava State Agrarian University (1/3 Skovoroda St., Poltava, 36003, e-mail: yurii.shkliar@pdau.edu.ua)

Vilanov Oleksandr – postgraduate student of Poltava State Agrarian University (1/3 Skovoroda St., Poltava, 36003, e-mail: oleksandr.vilanov@pdau.edu.ua)