Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 1, 177-182
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.01.177-182

УДК 631.316.022.4: 621.791.927.5

ТЯГОВИЙ ОПІР КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП З ПОВЕРХНЕВИМ ЗМІЦНЕННЯМ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Д. О. Буслаєв, М. О. Василенко

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: buslaev_@ukr.net

Історія статті: отримано – листопад 2019, акцептовано – січень 2020.
Бібл. 20, рис. 6, табл. 0.

Анотація. Робота присвячена дослідженням процесів зношення лез культиваторних лап при різних видах зміцнення та вплив їх на зміну тягового опору ґрунтообробного агрегату. В статі наведено залежності для прогнозування зміни товщини ріжучих кромок зміцнених різними варіантами від лінійного зношення леза за шириною та кутом його загострення.

Розширено відому залежність прогнозування зміни тягового опору агрегату в процесі експлуатації, шляхом введення залежності, що дозволяє врахувати опір стиснення і сколювання шару ґрунту, а також опір ґрунту вдавлюванню товщиною ріжучої кромки.

Теоретично обґрунтовано вплив товщини ріжучої кромки культиваторної лапи на зміну тягового опору агрегату. Аналіз отриманих графічних залежностей зміни тягового опору культиваторних лап з об'ємним та поверхневим зміцненням від величини лінійного зношення показав, що тяговий опір культиваторних лап з поверхневим загартуванням на 27–30 % менше ніж при експлуатації лап з об'ємним зміцненням.

Поверхневе зміцнення лез культиваторних лап дозволить зменшити витрати на виконання технологічних операцій з обробітку ґрунту завдяки зменшенню тягового опору ґрунтообробних машин внаслідок підвищення процесу самозагострення та стабілізації товщини ріжучої кромки в процесі експлуатації.

Ключові слова: зміцнення, лезо, зносостійкість, ресурс, довговічність, самозагострення, опір.

Постановка проблеми

Актуальною проблемою у виробництві сільськогосподарської продукції України є значні витрати пального під час виконання технологічних операцій з обробітку ґрунту за рахунок підвищеного тягового опору ґрунтообробних машин внаслідок збільшення товщини ріжучої кромки лез робочих органів ґрунтообробних машин при їх експлуатації.

Якісний обробіток ґрунту має значний вплив на урожайність сільськогосподарських культур. В свою чергу якість обробітку залежить від стану робочих органів ґрунтообробної техніки, які працюють в тяжких умовах контактних навантажень та абразивного зношення. В процесі роботи робочі органи зношуються, що зумовлює збільшення тягового опору, їх виглиблення, неякісне підрізання кореневищ бур'янів, накопичення рослинних решток.

Аналіз останніх досліджень

Відомо [1–17], що зміна товщини різальної кромки впливає на зміну тягового опору агрегату при виконанні технологічних операцій з обробітку ґрунту. Із збільшенням наробітку тяговий опір агрегату збільшується, що призводить до перевитрат пального.

Дослідження авторів [1–8, 14–17] показують, що на різні частини леза діє різний тиск гранту в процесі експлуатації (рис. 1).

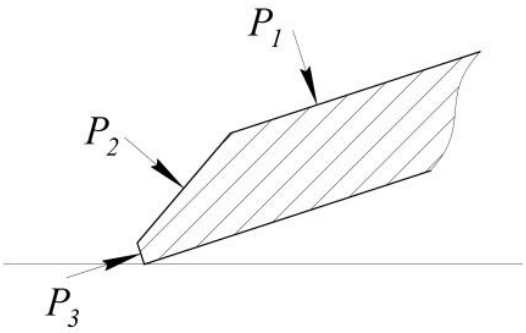


Рис. 1. Схема леза робочого органу та сил, що діють на нього в процесі виконання технологічних операцій з обробітку ґрунту.

Fig. 1. Scheme of the blade of the working body and the forces acting on it in the course of performing technological operations for cultivation.

Ра результатами досліджень [14–17, 19–20] тиск ґрунту який діє на товщину ріжучої кромки леза культиваторних лап становить $P_3=3,8P_2=8,2P_1$.

Таким чином це означає, що визначальним для зменшення опору робочого органу є стан різальної кромки, який в 4–8 разів є більш значимим, ніж стан інших робочих поверхонь.

Авторами [1–2] проведено лабораторні дослідження впливу гостроти леза робочих органів ґрунтообробних машин на опір ґрунту різанню. За результатами лабораторних досліджень питомого опору ґрунту різанню при різних значеннях товщини різальної кромки леза ними побудовано графічну залежність (рис. 1) [1–2].

Рис. 2. Залежність питомого опору ґрунту різанню від товщини різальної кромки леза.

Fig. 2. Dependence of the specific resistance of the soil to cutting on the thickness of the cutting edge of the blade.

За експериментальними даними цих авторів тяговий опір робочого органу залежить від товщини леза робочого органу та описується логарифмічною залежністю [1–2]:

$$R = 0.38\ln(t) + 1.06, \qquad (1)$$

де R – питомий опір ґрунту різанню, кН/м;

t – товщина ріжучої кромки леза, мм.

Зробивши аналіз результатів представлених цими авторами можна зробити висновок, що із збільшенням товщини різальної кромки леза від 0,7 до 1,5 мм опір ґрунту різанню зростає на 50%, а збільшення різальної кромки леза до 4 мм призводить до збільшення опору ґрунту різанню в 2 рази. Слід зазначити, що авторами не розглянуто взаємозв'язок зміни питомого опору різанню ґрунту від глибини обробітку ґрунту та кута загострення леза.

В результаті досліджень тягового опору при русі плуга, академік В. П. Горячкін прийшов до висновку, що при стабільній швидкості руху плуга тяговий опір можна визначити за виразом [18]:

$$P = fG + kabn + \varepsilon abnV^2, \qquad (2)$$

де P – сила тяги, Н; f – загальний коефіцієнт, який враховує силу тертя опорних поверхонь робочих органів, а також опір опорних коліс або котків (запропоновано при теоретичних розрахунках використовувати значення f в межах 0,5 – 0,9); G – вага плуга або культиватора, Н; k – питомий опір ґрунту різанню, який залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту, геометричної форми робочих органів, розташування робочих поверхонь, їх стану а також гостроти леза робочих органів (за експериментальними даними В.П. Горячкіна, коефіцієнт k на легких ґрунтах становить 20000, на середніх – 30000, на важких – 40000 – 50000 Н/м^2), Н/м^2; a – глибина обробітку ґрунту, м; b – ширина захвату одного корпуса плуга або культиваторної лапи, м; n – кількість корпусів плуга або культиваторних лап, шт.; ε – коефіцієнт пропорційності, за даними автора коефіцієнт ε можна прийняти рівним 1500 Н·с^2/м^4; V – робоча швидкість, м/с.

Раціональна формула (2) В.П. Горячкіна для визначення тягового опору ґрунтообробних машин складається із трьох складових, а саме, опору тертя ґрунту опорних поверхонь робочих органів, опору який враховує відрізання і деформацію пласта ґрунту, і опору, що враховує прискорення частини маси шару ґрунту при його переміщенні [18]. Достовірність використання формули підтверджується багатократними дослідженнями динамометрування а також експериментальними динними в реальних польових умовах. На жаль, автором не обґрунтовано вплив товщини різальної кромки на зміну тягового опору ґрунтообробних машин при виконанні технологічних операцій з обробітку ґрунту.

А. Н. Зеленін у своїх дослідженнях встановив, що загальний опір різанню буде складатись із двох компонентів, а саме, опору стиснення і сколювання шару ґрунту, що становить 16,5 – 36% від загального опору різання, а більша частина загального опору витрачається на опір ґрунту вдавлюванню товщиною ріжучої кромки. Таким чином, автор пропонує визначати загальний опір різанню за виразом [19–20]:

$$P = \tau ab\frac{\cos\varphi\sin(\alpha+2\varphi')}{\cos\varphi'\cos^2\left(\dfrac{\alpha+\varphi+\varphi'}{2}\right)} + tb\sigma_{вд}, \qquad (3)$$

де P – опір різанню, Н; τ – граничне напруження ґрунту на зсув, Н/м^2; a – глибина обробітку ґрунту, м; b – ширина захвату одного корпуса плуга або культиваторної лапи, м; φ – кут внутрішнього тертя ґрунту по ґрунті, град.; φ' – кут тертя ґрунту по матеріалу робочого органу, град.; α – кут різання ґрунту, град.; t – товщина ріжучої кромки, м; $\sigma_{вд}$ – питомий опір ґрунту при вдавлюванні ріжучою кромкою, Н/м^2.

За результатами вивчення та аналізу результатів досліджень згаданих авторів нами продовжена робота в напрямі встановлення впливу зміни товщини ріжучої кромки на загальний опір агрегату та дослідження взаємозв'язків між товщиною ріжучої кромки, лінійним зношенням та кутом загострення леза і впливу їх на зміну тягового опору агрегату.

Мета досліджень

Зменшення витрат на виконання технологічних операцій з обробітку ґрунту завдяки зменшенню тягового опору ґрунтообробних машин.

Результати досліджень

Лезо нової культиваторної лапи характеризується певною початковою товщиною ріжучої кромки t_0 та кутом загострення леза γ.

Зношення деталі супроводжується зміною товщини t_i ріжучої кромки, від t_0 до $t_{гр}$, де t_i – будь яке проміжне значення. Із збільшенням величини лінійного зношення леза за шириною A_i збільшується t_i. За умови досягнення граничного значення величини зношення

леза за шириною $A_{гр}$, товщина ріжучої кромки не змінюється і дорівнює величині $t_{гр}$.

Враховуючи геометричні параметри леза робочих органів з об'ємним загартуванням серійного виробництва, зміна товщини ріжучої кромки t_i в процесі експлуатації описується виразом:

$$t_i = t_0 + A_i \cdot tg\gamma. \quad (4)$$

Цей вираз придатний для прогнозування товщини ріжучої кромки в залежності від величини зношення леза за шириною і описується графічно (рис. 3).

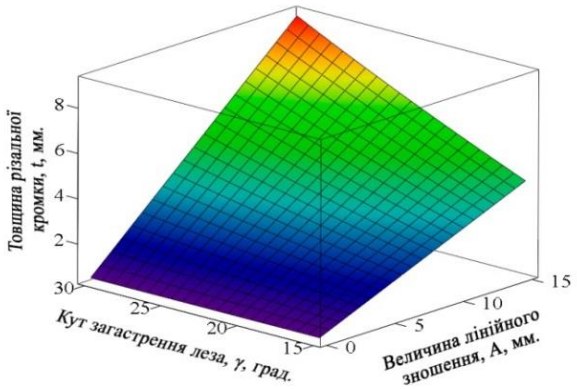


Рис. 3. Залежність зміни товщини ріжучої кромки t від впливу величини зношення A і кута загострення леза γ.

Fig. 3. The dependence of the change in the thickness of the cutting edge t on the influence of the amount of wear A and the angle of sharpening of the blade γ.

Зменшення t_i, а в ідеальному випадку доведення його до початкового значення t_0 і забезпечення його постійної величини в процесі експлуатації, можливе шляхом зміцнення поверхні робочого органу сільськогосподарських машин методом нанесення зміцнюючих покриттів, або поверхневого загартування робочої поверхні леза на глибину 1,5 – 3 мм.

Геометричні параметри ріжучої кромки робочих органів з поверхневим зміцненням на відміну від об'ємного загартування, залежать від товщини зміцнення робочої поверхні леза $t_з$ при цьому зміна товщини ріжучої кромки $t_{iз}$ описується виразом:

$$t_{iз} = \begin{cases} t_0 + A_i \cdot \tan\gamma, \text{ якщо } A_i \le A_з; \\ \left(t_0 + A_i \cdot \tan\gamma\right) - \left(A_i - (t_з - t_0) \cdot \cot\gamma\right) \cdot \tan\gamma, \text{ якщо } A_i > A_з. \end{cases} \quad (5)$$

Враховуючи те, що зміцнений шар зношується менш інтенсивно, ніж основний метал, прогнозується, що в процесі експлуатації величина товщина ріжучої кромки буде постійною і становитиме 2,0 – 2,3 мм (рис. 4).

Для прогнозування зміни тягового опору агрегату в процесі експлуатації, нами запропоновано розширити відому залежність (2), а саме, розраховувати складову *kabn*, що визначає опір підрізання і деформацію пласта ґрунту за відомою формулою (3). Враховуючи доповнення залежність (2) набуває вигляду:

$$P = fG + \left(\tau ab \frac{\cos\varphi \sin(\alpha + 2\varphi')}{\cos\varphi' \cos^2\left(\frac{\alpha + \varphi + \varphi'}{2}\right)} + tb\sigma_{вд} \right) n + \varepsilon abnV^2. \quad (6)$$

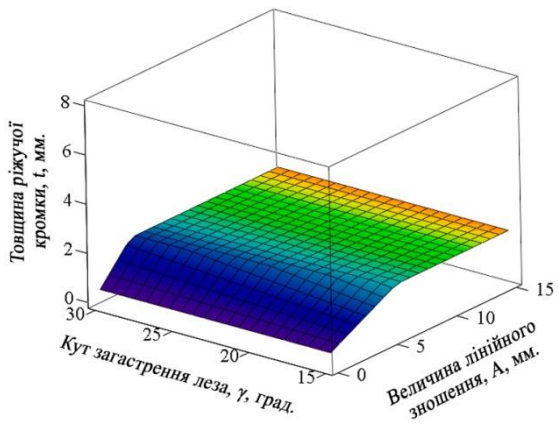


Рис. 4. Залежність зміни товщини ріжучої кромки t з поверхневим зміцненням від впливу величини зношення A і кута загострення леза γ.

Fig. 4. The dependence of the change in the thickness of the cutting edge t with surface hardening from the influence of the amount of wear A and the angle of sharpening of the blade γ.

Отриманий вираз (6) щодо визначення тягового опору ґрунтообробного агрегату, дозволяє розширити відому формулу (2) шляхом врахування опору стиснення і сколювання шару ґрунту, а також опору ґрунту вдавлюванню товщиною ріжучої кромки. Це дало можливість визначити вплив товщини різальної кромки на зміну тягового опору агрегату (рис. 5).

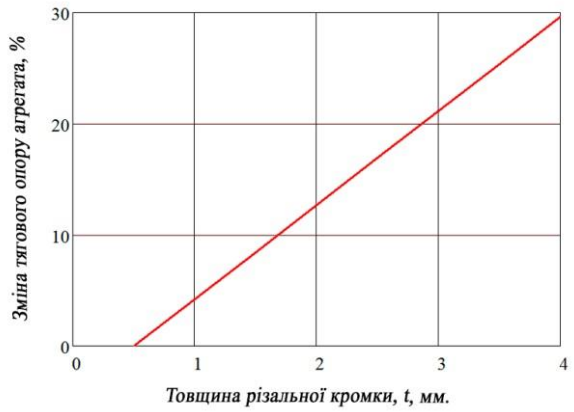


Рис. 5. Залежність зміни тягового опору агрегату від товщини ріжучої кромки.

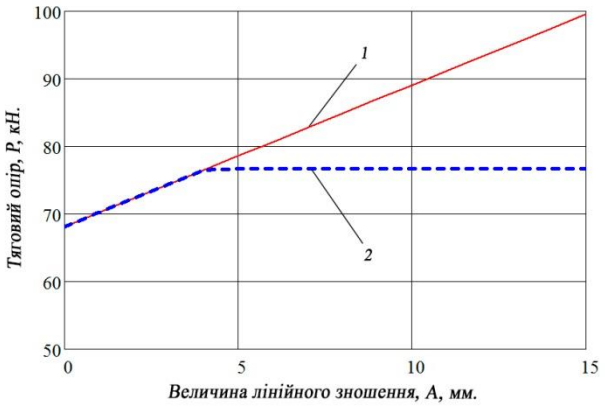
Fig. 5. Dependence of change of traction resistance of the unit on the thickness of the cutting edge.

Аналіз графічної залежності (рис. 5) показує, що збільшення товщини ріжучої кромки культиваторної лапи з 0,5 мм до 4 мм призводить до зростання тягового опору агрегату на 29,6 %.

Для порівняння зміни тягових опорів при експлуатації культиваторних лап з об'ємним загартуванням і поверхневим зміцненням лез, у вираз (6) підставляємо залежності зміни товщини ріжучих кромок (4) та (5).

В результаті теоретичних досліджень змінити тягового опору культиваторних лап в процесі експлуатації, виготовлених з використанням об'ємного зміцнення та з використанням поверхневого зміцнення

нами отримано показники для порівняння двох варіантів зміцнення (рис. 6).



1 – об'ємне загартування леза; *2* – поверхневе загартування леза.

Рис. 6. Залежності зміни тягового опору культиваторних лап з об'ємним та поверхневим зміцненням від величини лінійного зношення.

Fig. 6. Dependence of change of traction resistance of cultivator paws with volumetric hardening and surface hardening on the value of linear wear.

Аналіз графічних кривих (рис. 6) зміни тягового опору культиваторних лап з об'ємним та поверхневим зміцненням від величини лінійного зношення показав, що за лінійного зношення від початку експлуатації до 4 мм тяговий опір двох варіантів зміцнення поступово зростає на 13,2 %, від 68 кН до 77 кН, що аргументується збільшенням товщини різальної кромки. Подальша експлуатація культиваторних лап, що супроводжується лінійним зношенням леза від 4 мм до 15 мм, при цьому тяговий опір культиваторних лап з поверхневим зміцненням стабілізується в межах 76–78 кН за рахунок виникненню ефекту самозагострення леза. Поряд з цим тяговий опір культиваторних лап з об'ємним загартуванням інтенсивно зростає від 77 кН до 99 кН, що на 27–30 % більше ніж при експлуатації лап з поверхневим зміцненням.

Висновки

1. Аналіз процесів абразивного зношення лез культиваторних лап з двома варіантами зміцнення дав змогу встановити взаємозв'язок між лінійним зношенням леза та зміною його товщини різальної кромки в процесі експлуатації, що дало змогу прогнозувати товщину різальної кромки в залежності від наробітку та впливати на зміну тягового опору агрегату шляхом її зменшення в процесі експлуатації.

2. Теоретично обґрунтовано вплив товщини ріжучої кромки культиваторної лапи на зміну тягового опору агрегату та встановлено, що збільшення товщини ріжукої кромки культиваторної лапи з 0,5 мм до 4 мм призводить до зростання тягового опору агрегату на 29,6 %.

3. Теоретично встановлено позитивний ефект від поверхневого зміцнення, а саме, при лінійному зношенні леза на 15 мм тяговий опір агрегату становить 77 кН, що на 28% менший ніж при експлуатації лап з використанням об'ємного загартування.

Список літератури

1. *Бабицкий Л. Ф., Рутенко В. С., Куклин В. А.* Снижение тягового сопротивления почвообрабатывающего органа преобразованием трения на рабочей поверхности. II научная конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского» (Симферополь, 2016), сборник тезисов участников. Симферополь, 2016. Т.1. С. 140–142.

2. *Бабицкий Л. Ф., Куклин В. А.* Трибологические основы снижения тягового сопротивления почвообрабатывающих рабочих органов. II научная конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского» (Симферополь, 2016), сборник тезисов участников. Симферополь, 2016. Т.1. С. 142–143.

3. *Невзоров А. В.* Залежність ефективності роботи ґрунтообробних машин від рівня зношення робочих органів. Збірник тез доповідей XII Міжнародної наукової конференції «Раціональне використання енергії в техніці» (17-20 травня 2016 року) Національний університет біоресурсів і природокористування України. К., 2016. С. 35–39.

4. *Мельник В. И., Чигрина С.А.* Согласование тяговых возможностей трактора и рабочего сопротивления почвообрабатывающих машин. Інженерія природокористування. Харків, 2016. №2(6). С. 113 – 118

5. *Бойко А. І., Морозовська З. А.* Оцінка природного зношування матеріалу деталей. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». Кіровоград: КНТУ, 2016. С. 19–20.

6. *Дворук В. І., Войтов В. А., Борак К. В.* Вплив напрацювання на коефіцієнт зміни форми робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь. Аграрна наука, освіта, виробництво: європейський досвід для України: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 17–18 листоп. 2015 р. – Житомир: ЖНАЕУ, 2015. С. 61–65.

7. *Старовойтов С И.* Горизонтальная составляющая тягового сопротивления стрельчатой лапы с переменным углом крошения и с трансформированным лезвием. Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. Брянск, 2016. №1. С. 79 – 86.

8. *Лобачевский Я. П., Комогорцев В. Ф., Старовойтов С. И., Храмовских К. А.* Анализ тягового сопротивления элементов цилиндроидального плужного корпуса. Сельскохозяйственные машины и технологии. Москва, 2016. №2. С. 11–15.

9. *Croitoru1 S., Vladut V., Marin E., Matache M., Dumitru I.* Determination of subsoiler traction force influenced by different working depth and velocity. Engineering for rural development. Jelgava, 25–27.05.2016. P. 817–825.

10. *Boykov V. M., Nesterov E. S., Startsev S. V., Okas K. K.* Traction resistance of the chisel working body. Scientific Review. Poland, 2017. Vol. 5. P. 72–77

11. *Okoko P., Ajav E., Olosunde W.* Draft and power requirements for some tillage implements operating in clay loam soil. AgricEngInt: CIGR Journal Open access at http://www.cigrjournal.org. Japan, 2018. Vol. 20. No. 1. P. 95–102.

12. *Askari M., Shahgholi G., Abbaspour-Gilandeh Y.* The effect of tine, wing, operating depth and speed on the draft requirement of subsoil tillage tines. Research in Agricultural Engineering. Czech Republic, 2017. Vol. 63. P. 160–167.

13. *Ranjbarian S., Askari M., Jannatkhah J.* Performance of tractor and tillage implements in clay soil. Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences. Saudi Arabia, 2017. Vol. 16. Issue 2. P. 152–164.

14. *Новиков В. С., Петровский Д. И.* Высокоресурсные рабочие органы машин для основной обработки почвы. В сборнике: Инновационные технологии для АПК юга России. Майкоп, 2016. С. 79–82.

15. *Новиков В. С., Петровский Д. И.* Повышение ресурса рабочих органов машин для основной обработки почвы. В сборнике: Основные направления развития техники и технологий в АПК VII Всероссийская научно-практическая конференция. Курган, 2016. С. 288–293.

16. *Бондарєв С. І.* Дослідження якісних та енергетичних показників роботи ґрунтообробної техніки. Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції «Обухівські читання» (21 березня 2017 року) / Національний університет біоресурсів і природокористування України. К., 2017. С. 37-39.

17. *Василенко М. О., Буслаєв Д. О.* Зменшення тягового опору відновлених і зміцнених робочих органів при експлуатації. Науково-теоретичний журнал Національної академії аграрних наук України. Вісник аграрної науки. Київ, 2016. №9. С. 52–55.

18. *Хмара Л. А., Кроль Р. М.* Наукові основи оптимізації геометричних параметрів інноваційного телескопічного робочого органа бульдозера (На основі загальних теорій взаємодії відвальних робочих органів із середовищем) Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, Дніпро, 2019, №4. С. 79–92.

19. *Лещенко С. М., Сало В. М., Петренко Д. І., Васильковський О. М.* Вплив конструкційно-технологічних параметрів робочих органів глибокорозпушувача на тяговий опір. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград, 2018. Вип. №48 С. 12–21.

20. *Павлов В. П., Пенчук В. А.* Машины для земляных работ: синтез технологий, проектирование, эффективность: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2016. 328 с.

References

1. *Babitsky L. F., Rutenko V. S., Kuklin V. A.* (2016). Reducing the traction resistance of the soil organ by converting friction on the work surface. II scientific conference of the faculty, graduate students, students and young scientists «Days of science of KFU them. YOU. Vernadsky ”(Simferopol, 2016), a collection of abstracts of participants. Simferopol. T. 1. 140–142.

2. *Babitsky L. Фю, Kuklin V. A.* (2016). Tribological bases of reduction of traction resistance of soil working bodies. II scientific conference of the faculty, graduate students, students and young scientists «Days of science of KFU them. YOU. Vernadsky ”(Simferopol, 2016), a collection of abstracts of participants. Simferopol. T.1. 142–143.

3. *Nevzorov A. V.* (2016). Dependence of efficiency of soil tillage machines on the level of wear of working bodies. Proceedings of the XII International Scientific Conference "Energy Efficiency in Engineering" (May 17-20, 2016) National University of Bioresources and Environmental Management of Ukraine. Kyiv. 35–39.

4. *Miller V. I., Chigrina S. A.* (2016). Coordination of tractor traction capabilities and working resistance of tillage machines. Environmental Engineering. Kharkiv. №2 (6). 113–118.

5. *Boyko A. I., Morozovskaya S. A.* (2016). Evaluation of natural wear of material of parts. Materials of the All-Ukrainian Scientific-Practical Conference "Achievements and Prospects of Agricultural Production, Processing and Storage". Kirovograd: KNTU. 19–20.

6. *Dvoruk V. I., Voitov V. A., Borak K. V.* (2015). Influence of working time on the coefficient of change in the shape of the working bodies of disc tillage tools. Agrarian Science, Education, Production: European Experience for Ukraine: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, November 17-18. 2015 - Zhytomyr: ZhNAEU. 61–65.

7. *Starovoitov S. I.* (2016). The horizontal component of the traction resistance of the lancet paw with a variable angle of crushing and with a transformed blade. Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. Bryansk. No. 1. 79–86.

8. *Lobachevsky Ya. P., Komogortsev V. F., Staroitov S. I., Khramovskikh K. A.* (2016). Analysis of traction resistance of elements of a cylindroid plow body. Agricultural machinery and technology. Moscow. No2. 11–15.

9. *Croitoru1 S., Vladut V., Marin E., Matache M., Dumitru I.* (2016). Determination of subsoiler traction force influenced by different working depth and velocity. Engineering for rural development. Jelgava, 25.–27.05.2016. 817–825.

10. *Boykov V. M., Nesterov E. S., Startsev S. V., Okas K. K.* (2017). Traction resistance of the chisel working body. Scientific Review. Poland. Vol. 5. 72–77.

11. *Okoko P., Ajav E., Olosunde W.* (2018). Draft and power requirements for some tillage implements operating in clay loam soil. AgricEngInt: CIGR Journal Open access at http://www.cigrjournal.org. Japan. Vol. 20. No. 1. 95–102.

12. *Askari M., Shahgholi G., Abbaspour-Gilandeh Y.* (2017). The effect of tine, wing, operating depth and speed on the draft requirement of subsoil tillage tines. Research in Agricultural Engineering. Czech Republic. Vol. 63. 160–167.

13. *Ranjbarian S., Askari M., Jannatkhah J.* (2017.) Performance of tractor and tillage implements in clay soil. Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences. Saudi Arabia. Vol. 16. Issue 2. 152–164.

14. *Novikov V. S., Petrovsky D. I.* (2016). High-resource working bodies of machines for primary tillage. In the collection: Innovative technologies for the agricultural sector of the south of Russia. Maykop. 79–82.

15. *Novikov V. S., Petrovsky D. I.* (2016). Increasing the resource of the working bodies of machines for primary tillage. In the collection: The main directions of the development of engineering and technology in the agro-industrial complex VII All-Russian Scientific and Practical Conference. Mound. 288–293.

16. *Bondarev S. I.* (2017). Investigation of qualitative and energy performance of soil tillage equipment. Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference "Obukhov Readings" (March 21, 2017). National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv. 37–39

17. *Vasilenko M. O., Buslaiev D. O.* (2016). Reduction of traction resistance of restored and strengthened working bodies during operation. Scientific-theoretical journal of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. Bulletin of agrarian science. Kyiv. No. 9. 52-55.

18. *Khmara L. A., Krol R. M.* (2019). Scientific bases of optimization of geometrical parameters of an innovative telescopic working body of a bulldozer (On the basis of the general theories of interaction of dumping working bodies with the environment) Bulletin of the Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. Dnipro. No 4. 79–92.

19. *Leshchenko S. M., Salo V. M., Petrenko D. I., Vasilkovsky O. M.* (2018). Influence of structural and technological parameters of working tools of the deep-looser on traction resistance. Design, production and operation of agricultural machines. Kirovograd. Vol. 48. 12–21.

20. *Pavlov V. P., Penchuk V. A.* (2016). Machines for earthworks: synthesis of technologies, design, efficiency: monograph. Krasnoyarsk: Sib. Feder. Univ. 328.

ТЯГОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КУЛЬТИВАТОРНЫХ ЛАП С ПОВЕРХНОСТНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

Д. А. Буслаев, М. А. Василенко

Аннотация. Работа посвящена исследованию процессов износа лезвий культиваторных лап при различных видах упрочнения и влияние их на изменение тягового сопротивления почвообрабатывающего агрегата. В статье приведены зависимости для прогнозирования изменения толщины режущих кромок упрочненных различными вариантами от линейного износа лезвия по ширине и угла его заострения.

Расширено известную зависимость прогнозирования изменения тягового сопротивления агрегата в процессе эксплуатации, путем введения зависимости, которая позволяет учесть сопротивление сжатия и скалывания слоя почвы, а также сопротивление почвы вдавливанию толщиной режущей кромки.

Теоретически обосновано влияние толщины режущей кромки культиваторных лап на смену тягового сопротивления агрегата. Анализ полученных графических зависимостей изменения тягового сопротивления культиваторных лап с объемным и поверхностным упрочнением от величины линейного износа показал, что тяговое сопротивление культиваторных лап с поверхностным упрочнением на 27-30% меньше, чем при эксплуатации лап с объемным упрочнением.

Поверхностное упрочнение лезвий культиваторных лап позволит уменьшить затраты на выполнение технологических операций по обработке почвы благодаря уменьшению тягового сопротивления почвообрабатывающих машин вследствие повышения процесса самозатачивания и стабилизации толщины режущей кромки в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: упрочнение, лезвие, износостойкость, ресурс, долговечность, самозатачивание, сопротивление.

TRACTION RESISTANCE OF CULTIVATOR PAWS WITH SURFACE HARDENING DURING OPERATION OF TILLAGE MACHINES

D. O. Buslaiev, M. O. Vasylenko

Abstract. The work is devoted to the study of the processes of wear of the blades of cultivator paws for various types of hardening and their influence on the change in traction resistance of a tillage unit. The article presents the dependencies for predicting changes in the thickness of the cutting edges hardened by various options on the linear wear of the blade along the width and angle of its sharpening.

Extended known dependency predicting changes in the traction resistance of the unit during operation, by introducing a relationship that allows you to take into account the compression and cleavage resistance of the soil layer, as well as the resistance of the soil to indentation by the thickness of the cutting edge.

The effect of the thickness of the cutting edge of the cultivator paws on the change in the traction resistance of the aggregate is theoretically substantiated. An analysis of the obtained graphical dependences of the change in the traction resistance of cultivator paws with volumetric and surface hardening on the value of linear wear showed that the traction resistance of cultivator paws with surface hardening is 27-30% less than during operation of paws with volumetric hardening.

Surface hardening of the blades of cultivator paws will reduce the cost of performing technological operations on tillage due to a decrease in the traction resistance of tillage machines due to an increase in the process of self-sharpening and stabilization of the thickness of the cutting edge in the process exploitation.

Key words: hardening, blade, wear resistance, resource, durability, self-sharpening, resistance.

Д. О. Буслаєв ORCID 0000-0003-2535-7420.
М. О. Василенко ORCID 0000-0002-5240-7000.