УДК 621.793.7 **doi: 10.20998/2079-0775.2022.1.06**

С. О. ЛУЗАН, В. А. БАНТКОВСЬКИЙ

ОЦІНКА НОМЕНКЛАТУРИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ РЕСУРС

Розвиток конструкцій машин відбувається при постійнім прагненні до збільшення їх продуктивності. При цьому ставляться завдання досягнення високої надійності й довговічності машини, зниження її маси, скорочення витрати дефіцитних матеріалів. На основі комплексної оцінки автотракторних деталей, які визначають ресурс, встановлено, що абразивне зношування превалює над усіма іншими видами зношування, причому близько 83% деталей має зношування до 0,6 мм. Робочі органи ґрунтообробних і садильних машин при взаємодії з ґрунтом зазнають інтенсивного абразивного зношування. Крім того вони експлуатуються в умовах хімічно-абразивного середовища. У сукупності ці фактори роблять їх непридатними до експлуатації практично через декілька годин інтенсивної роботи. Типовими представниками робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами є лапи культиваторів, призначені для розпушування ґрунту, знищення бур'янів і перемішування частинок ґрунту. Аналіз методів та способів відновлення деталей машин, які застосовуються на підприємствах агропромислового комплексу, показав, що понад 60% деталей відновлюються методами наплавлення та способами газотермічного напилення.

Ключові слова: ресурс, ремонт, відновлення, наплавлення, газотермічне напилення, зношування, довговічність

С. А. ЛУЗАН, В. А. БАНТКОВСКИЙ

ОЦЕНКА НОМЕНКЛАТУРЫ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ РЕСУРС

Развитие конструкций машин происходит при постоянном стремлении к увеличению их производительности. При этом ставятся задачи достижения высокой надежности и долговечности машины, снижение ее массы, сокращение расхода дефицитных материалов. На основе комплексной оценки автотракторных деталей, определяющих ресурс, установлено, что абразивный износ превалирует над всеми другими видами износа, причем около 83% деталей имеет износ до 0,6 мм. Рабочие органы почвообрабатывающих и посадочных машин при взаимодействии с почвой подвергаются интенсивному абразивному износу. Кроме того, они эксплуатируются в условиях химически-абразивной среды. В совокупности эти факторы делают их непригодными для эксплуатации практически через несколько часов интенсивной работы. Типичными представителями рабочих органов почвообрабатывающих машин с режущими элементами являются лапы культиваторов, предназначенные для рыхления, уничтожения сорняков и перемешивания частиц почвы. Анализ методов и способов восстановления деталей машин, применяемых на предприятиях агропромышленного комплекса, показал, что более 60% деталей восстанавливаются методами наплавки и газотермического напыления.

Ключевые слова: ресурс, ремонт, восстановление, наплавка, газотермическое напыление, износ, долговечность

S. LUZAN, V. BANTKOVSKIY

EVALUATION OF NOMENCLATURE OF MACHINE PARTS, THAT DETERMINE RESOURCE

The development of machine designs occurs with a constant desire to increase their productivity, which is almost always accompanied by an increase in the mechanical and thermal tension of the movable joints of parts. At the same time, the tasks of achieving high reliability and durability of the machine, reducing its weight, reducing the consumption of scarce materials are set. Based on a comprehensive assessment of automotive parts that determine the resource, it was found that abrasive wear prevails over all other types of wear. About 83% of automotive parts have wear up to 0.6 mm. When interacting with the soil, the working bodies of tillage and planting machines are subjected to intense abrasive wear. In addition, the working bodies of agricultural machines are operated in a chemically abrasive environment, which is associated with the addition of various fertilizers to the soil and the presence of moisture in it. Together, these factors have such a strong influence on the working bodies of agricultural machines, which makes them unusable after almost several hours of intensive work. Currently, in Ukraine, the following working bodies of tillage machines are used for tillage in agriculture: ploughshares, pointed and one-sided cultivator paws, various coulter designs, harrow discs, husker discs, baking powder, etc. In the soil environment, the working bodies are subject to intense abrasive wear. Typical representatives of the working bodies of tillage machines with cutting elements are the paws of cultivators designed for loosening, destroying weeds and mixing soil particles. The analysis of methods and methods of restoration of machine parts used at the enterprises of the agro-industrial complex showed that more than 60% of the parts are restored by surfacing and gas thermal spraying.

Keywords: resource, repair, restoration, surfacing, thermal spraying, wear, durability

Вступ. За даними Української Асоціації «Надійність машин і споруд», за період експлуатації на запчастині тракторного двигуна витрати металу складають 50-100 % його маси, шасі трактора – 100 %. Витрати коштів на технічне обслуговування і ремонт автомобілів, тракторів за весь термін служби у 3-6 разів перевищує вартість їх виготовлення.

Парк автотранспортних засобів в Україні по технічному рівню, моральному і фізичному зносу вимагає відновлення, терміни амортизації майже у 50 % машин значно перевищені (більше 10 років). Ресурс двигуна після ремонту за технічних умов повинен бути не нижчим 80 % ресурсу нового двигуна, проте насправді складає тільки 30-50 %. Середнє напрацювання на відмову трактора Т-150К в 2 рази, а термін служби в 2-3 рази менше, ніж у зарубіжних аналогів.

Розвиток конструкцій машин відбувається при постійному прагненні до збільшення їх продуктивності, що майже завжди супроводжується підвищенням механічної й теплової напруженості рухливих сполучень деталей [1]. При цьому ставляться завдання досягнення високої надійності й довговічності машини, зниження її маси, скорочення витрати дефіцитних матеріалів. Відомо, що підвищення довговічності машини навіть у невеликому ступені веде до значної економії металу, зменшення витрат на виробництво запасних деталей; скорочуються число й обсяг ремонтів, а отже, збільшується кількість фактично працюючих машин [1].

© С. О. Лузан, В. А. Бантковський, 2022

Оскільки при конструюванні машин ураховуються й економічні фактори виробництва й експлуатації, конструктору необхідно проводити перспективний прогноз тривалості використання даної машини з урахуванням тривалості експлуатації машин попередніх моделей. У ряді випадків цей строк становить 25 років, а іноді й більше, наприклад, для автомобілів, тракторів, транспортних літаків, металообробних верстатів [2]. При виборі конструктивного рішення необхідно враховувати майбутні витрати не тільки на виготовлення машини і її окремих вузлів, але й на обслуговування й ремонт. Останні витрати при тривалій експлуатації машини в багато разів більші вартості її виготовлення.

Проблема підвищення строку експлуатації виробів і деталей, особливо в тих випадках, де їх заміна або ремонт неможливий, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз причин відмов машин, проведений у роботах [3-6], показав, що ресурсною відмовою, яка найбільше часто зустрічається, є вихід з ладу через зношування й руйнування деталей пари «тертя шийка колінчатого валу – вкладиш підшипника ковзання», табл. 1.

Таблиця 1 - Кількісна оцінка ресурсних відмов двигунів

Найменування	Кількість, %				
	СМД-62	ЯМЗ- 38НБ	ЯМЗ-240Б	Д-240	КамАЗ-740
Вихід з ладу групи «шийка колінчатого валу – вкладиш підшипника ковзання»	67	55	45	40	56
Зношування циліндро – поршневої групи	14	20	35	44	24
Обрив поршня	14	15	15	10	8
Обрив шатуна і його болтів	1	10	5	6	9
Обрив болтів кріплення маховика	–	–	–	–	3

Аналіз динаміки зміни зазорів у трибосистемах двигунів транспортних засобів також показав, що найбільш інтенсивний характер збільшення зазору поряд із циліндро-поршневою групою (ЦПГ) має сполучення кривошипно-шатунного механізму (КШМ), тобто «шийка колінчатого валу – вкладиш підшипника ковзання». Залежності зміни зазору в КШМ від наробітку представлені на рис. 1 [5].

Проаналізувавши графічні залежності, представлені на рис. 1, можна зробити висновок, що характер кривих зміни зазорів у з'єднанні «вкладиш – шийка колінчатого вала двигуна» в нового й відремонтованого двигунів аналогічний, причому швидкість зношування сполучень у двигунів після ремонту вища, чим у нових.

Відомо, що на підтримку працездатності тракторів за строк їх служби витрачається коштів у 3-4 рази більше, ніж на їх виготовлення. При цьому 60-80% цих засобів витрачається на усунення відмов і несправностей [5]. На ремонт тракторів задіяно у 4 рази більше виробничих потужностей, ніж на їх виготовлення. Легковий автомобіль, що має масу 1000 кг, стає непридатним для ремонту, якщо втрата його маси від зношування складе 1 кг, а також підраховано, що до списання трактора Т-130 на запасні частини для ремонту й технічного обслуговування потрібно витратити стільки ж металу, скільки він важить сам – 12000 кг. У нормативах надійності для оцінки довговічності тракторів і їх основних складових частин використовується ресурс до першого капітального ремонту (ГОСТ 26817) із заданою гарантованою ймовірністю безвідмовної роботи.

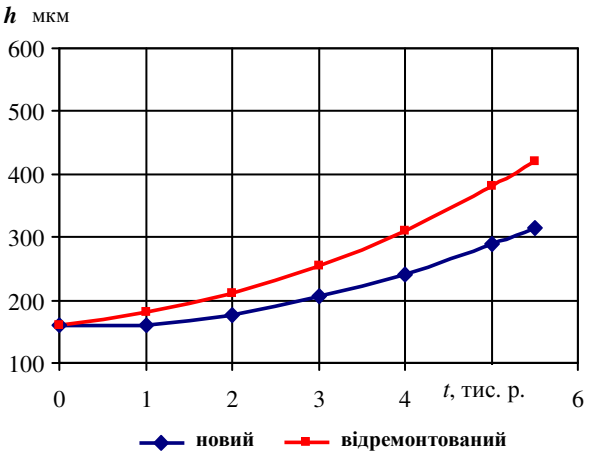

Рисунок 1 - Зміни зазорів у з'єднанні «вкладиш – шийка колінчатого валу двигуна» від часу наробітку

До 1990 року Україна щорічно купувала близько 52 тисяч тракторів, і парк тракторів становив 495 тисяч машин. У зв'язку зі спадом виробництва вже у 2005 р. в сільськогосподарських підприємствах України було 194,92 тисячі тракторів усіх марок. У такий спосіб за 15 років випуск тракторів скоротився більше чим у 30 разів, а у 2009 р. – більш ніж в 100 разів. Відсоток використання виробничих потужностей тракторних заводів також знизився з 93% у 1985 р. до 5,2% у 1997 р. А у 2009 р. виробничі потужності підприємств були завантажені до 2%.

У зв'язку із цим у цей час в експлуатації питома вага тракторів, випущених до 1985 р., досягає 25%, випущених у 1986-1990 рр. – 42%. Більше половини тракторів, які є в наявності, були випущені близько 20 років тому.

Так, наприклад, кількість тракторів марки «ЮМЗ», які перебувають у господарствах України, становить близько 50 тисяч штук. З них більше половини вимагає капітального ремонту. І якщо не вжити відповідних заходів, то до 2025 р. вони залишаться в одиничних екземплярах у господарствах України. Трохи краща ситуація із тракторами «ХТЗ», однак за 8 місяців 2009 р.

господарствами України було придбано всього 150 штук цих тракторів. Враховуючи дану економічну ситуацію, потрібні нові системні підходи до збільшення ресурсу машин шляхом відновлювання деталей, визначаючих їхній ресурс.

Мета дослідження - на основі оцінки номенклатури деталей, які визначають ресурс автотракторної техніки і сільськогосподарських машин, встановити переважні види й величини зношування деталей, а також визначити методи та способи відновлення деталей машин, які найчастіше використовуються на підприємствах агропромислового комплексу.

Результати дослідження. Відповідно ДСТУ 2863-94 програма по забезпеченню надійності повинна містити етап розробки нормативів довговічності, безвідмовності, ремонтопридатності. Це - основа керування процесом забезпечення необхідної надійності.

На основі аналізу впливу ряду факторів: навантаження, частоти обертання, ступеню забруднення мастильного середовища, конструктивних особливостей вузлів, сполучень на інтенсивність зношування й динаміку нагромадження втомлених ушкоджень, а також з урахуванням накопиченого досвіду підвищення працездатності деталей і вузлів на Харківському тракторному заводі була визначена номенклатура деталей шасі колісних тракторів типу Т-150 К, які вимагають підвищення довговічності [5]. Номенклатура містить 36 деталей. Переважні види ушкоджень: зношування – 33 деталі, питинг зубів – 2 деталі, спікання втулки з валом – 1 деталь. Якщо проаналізувати обрані можливі шляхи підвищення довговічності, то на частку зміцнюючих технологій доводиться 9 деталей (плазмове напилення – 3 дет., хіміко-термічне зміцнення – 3 дет., лазерне зміцнення – 3 дет.), що становить більш 27%, а серед них плазмове напилення й лазерне зміцнення займають обсяг 67%.

Ресурс більшості машин залежить від відносно невеликої кількості деталей. Це дозволяє планувати обсяги їх відновлювання, розробляти, випускати й впроваджувати спеціальне устаткування, створювати й розбудовувати спеціалізовані виробництва, нарощувати обсяги й розширювати номенклатуру відновлюваних зношених деталей.

Агрегати й вузли автомобілів, тракторів і сільськогосподарських машин являють собою сукупність безлічі деталей типу: вал, втулка, важіль, корпус, шестерня, що зазнають у процесі експлуатації впливу різного роду навантаженням і середовища, які приводять до необоротних процесів зношування їх робочих поверхонь.

При обробці статистичних даних по відмовах деталей автомобілів встановлений наступний їхній розподіл: зношування – 53,4%; руйнування (тріщини, поломка, обривши частини деталі) – 18,9%; деформація (розтягання, скручування, вигин) – 10,4%, інші види дефектів – 17,3%. Аналізуючи дефекти деталей, що виникають при експлуатації, слід мати на увазі, що кожна окрема деталь піддається різному навантаженню, виду деформацій і умовам змащення [7, 8].

При узагальненні видів зношування деталей, які виникають в експлуатації машин, виготовлених на різних заводах, встановлюються характерні дефекти, властиві машинам різного призначення. У деталях машин, які вишли з ладу, спостерігається абразивне зношування, втомне руйнування поверхневого шару, контактне схоплювання, зминання й корозія. У числі дефектів зустрічаються тріщини, сколювання й викрашування зубів, поломка зубів, скручування шліців і валів.

Абразивне зношування превалює над усіма іншими: близько 40% деталей мають чисто абразивне зношування й 50% – абразивне зношування в комбінації з іншими видами зношування й руйнувань поверхневого шару.

Дуже часто, на одній деталі й навіть на одній і тій же поверхні тертя спостерігається кілька видів зношування й руйнування (табл. 2).

Таблиця 2 - Характерні види зношування й руйнування деталей машин моделей

Вид зношування й руйнування	Імовірність повторення, %
Зминання й абразивне зношування зубів і шліців сполучних муфт	14,8
Втомне руйнування поверхневого шару й абразивне зношування зубів шестерні	15,8
Відколи й абразивне зношування зубів шестерні	20,1
Абразивне зношування деталей	38,8
Контактне схоплювання деталей	10,5
Корозія деяких деталей у комбінації з різними видами зношування й руйнуваннями поверхневого шару	3,5–10

За даними досліджень, зношування поверхонь деталей тракторів, автомобілів і сільськогосподарських машин розподіляється приблизно в спосібі, наведеному на рис. 2 (тут циліндричні – 52%; конічні й сферичні – 3%; шліци – 3%; пази, канавки, лиски – 5%; різьблення – 10%; плоскі поверхні – 1%; зуби шестірні – 2%; профільні, фасонні поверхні – 1%; тріщини й злами – 9%; порушення геометричної форми – 13%). При цьому 40% дефекту, що найбільше часто зустрічається, – зношування циліндричної поверхні – становить зношування зовнішньої циліндричної поверхні, 60% – внутрішньої.

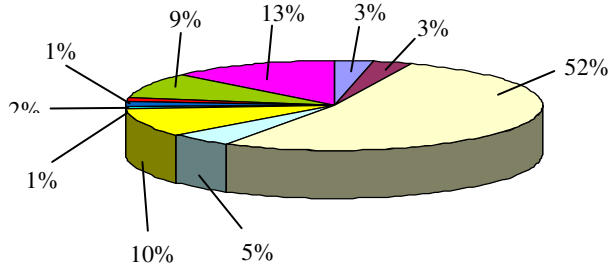

Рисунок 2 - Зношування поверхонь деталей автомобілів, тракторів і сільськогосподарських машин

Необхідно відзначити, що найбільше число деталей (близько 83%) має зношування до 0,6 мм. З них зношування до 0,1 мм – 52%, до 0,2 – 12%, до 0,3 – 10%, до 0,4 – 1%, до 0,5 – 5% і до 0,6 – 3%, що відповідає технологічним можливостям газотермічних способів нанесення покриттів [5].

При взаємодії з ґрунтом робочі органи ґрунтообробних і садильних машин зазнають інтенсивного абразивного зношування. Крім того, робочі органи сільськогосподарських машин експлуатуються в умовах хімічно-абразивного середовища, що пов'язано з додаванням в ґрунт різноманітних добрив та наявності в ньому вологи. У сукупності ці фактори чинять настільки сильний вплив на робочі органи сільськогосподарських машин, що робить їх непридатними до експлуатації, практично через декілька годин інтенсивної роботи.

В даний час в Україні для обробки ґрунту в сільському господарстві застосовують такі робочі органи ґрунтообробних машин: леміші плугів, стрілчасті та односторонні лапи культиватора, різні конструкції сошників, диски борін, диски лущильника, розпушувачі та ін. [9]. В середовищі ґрунту робочі органи підлягають інтенсивному абразивному зношуванню [10, 11]. Типовими представниками робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами є лапи культиваторів, призначені для розпушування ґрунту, знищення бур'янів і перемішування частинок ґрунту. Їх форма (рис. 3) залежить від виду і типу оброблюваної культури, стадії її розвитку і стану ґрунту, а основні параметри обумовлені ДСТУ 7328:2013 та ДСТУ 7329:2013.

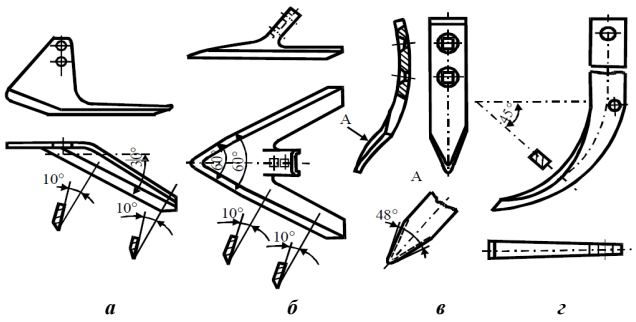

Рисунок 3 - Лапи культиваторів [12]:
а - плоскорізальна одностороння; *б* - плоскорізальна стрілчаста з хвостовиками; *в* - розпушуюча списоподібна; *г* - розпушуюча долотоподібна

Для найбільш розповсюджених культиваторів КПС-4 використовують стрілчасті лапи шириною захвату В = 270 і 330 мм і товщиною 5 або 6 мм.

Технічні вимоги передбачають їх виготовлення зі сталі, що по фізико-механічних властивостях не нижче марки 65Г (ДСТУ 3683-98). Твердість різальної крайки лапи, виготовленої без наплавлення, після термообробки в загартованій зоні повинна складати 44...54 HRC і не більше 352 НВ в незагартованій зоні [13, 14]. Для наплавлених лап оговорюється лише максимальна товщина різальної крайки – 0,5 мм. Хвилястість різальних елементів по крайці не повинна бути більше 2 мм при нерівності різальної крайки по висоті не більше 0,4 мм. Наявність тріщин в основному металі лап не допускається. ДСТУ не регламентує склад зміцнювального твердого сплаву, проте обумовлює напрацювання на одну лапу 30 га. При виконанні операцій обробки ґрунту швидкість переміщення культиватора знаходиться в межах 1,25…3,3 м/с.

У процесі зношування робочі органи ґрунтообробних машин їх різальних елементів (рис. 4, *а*) змінюються за розмірами $\Delta\ell$, *z*, та спостерігається затуплення, що обумовлює зміну основних параметрів геометричної форми різальних елементів: ширина затилкової фаски $S_{зат.}$, кут затилкової фаски $\delta_{зат}$, товщина різальної кромки h_z на відстані *z* від її вершини.

По лінії 1-2 лицьової сторони різальних елементів відбувається контакт з відрізаним шаром ґрунту, в точці 2 спостерігається його відрив, а лінія 2-3 – визначає затилкову фаску, яка переміщується по дну борозни. В момент відриву шару ґрунту кожна з двох зон, що характеризується лініями 1-2 та 2-3, контактує приблизно з однаковою кількістю абразивних частинок, і в процесі переміщення робочих органів ґрунтообробних машин зношується його робоча поверхня.

Дослідження [13, 15, 16] свідчать, що зміцнення однієї з робочих поверхонь різального елементу тонким шаром твердого сплаву стримує утворення затилкової фаски і дозволяє отримати ефект самозагострювання як результат вибіркового зношування локальних областей робочої поверхні [17, 18]. При цьому спостерігаються такі варіанти результату зношування різального елементу: нормальне самозагострювання (рис. 4, *б*); перезагострювання з виламуванням оголених твердих ділянок (рис. 4, *в*); затуплення й округлення різальної крайки (рис. 4, *г*). В процесі експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами найбільше зношується носок (рис. 5).

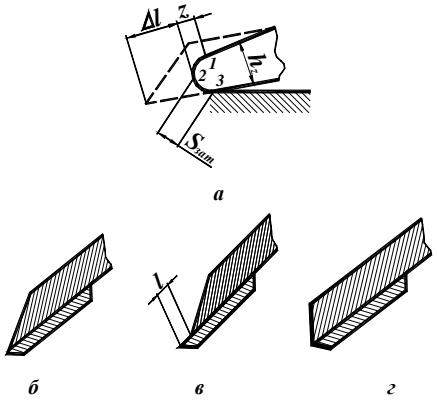

Рисунок 4 - Схема характеру зношування і зміни параметрів форми однорідного різального елемента (*а*) та варіанти зношування біметалевих різальних елементів (*б* – *г*) [12]:
1-2 – лицьова сторона; 2-3 – затилкова сторона

Порівняльний аналіз профілів різальних елементів стандартних лап культиваторів, зношених на різних ґрунтах, показує, що в більшості випадків вони мають округлу форму. Це можна пояснити тим,

що культивацію ґрунту здійснюють на невелику глибину, порядку 10...12 см, і удари та ковзання його абразивних частинок вздовж робочої поверхні обумовлюють затуплення різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин.

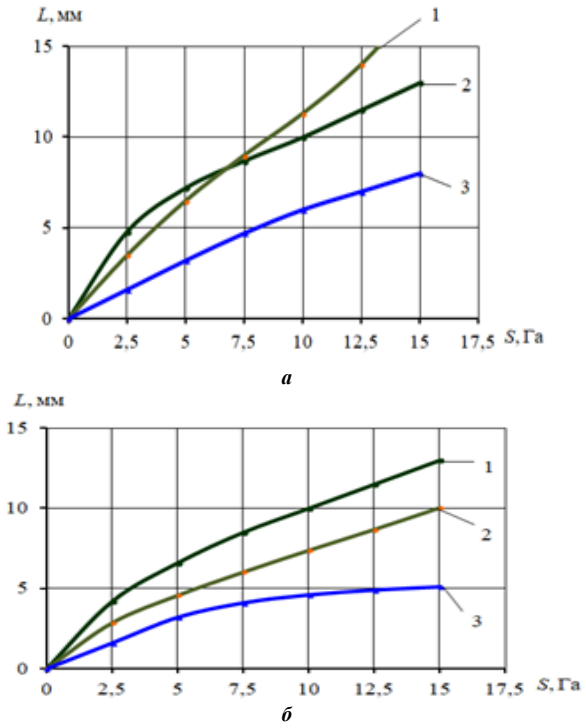

Рисунок 5 - Залежність зносу носку (а) та середини різальної частини (б) стрілчастих лап культиватора від напрацювання на різних ґрунтах:
1 – піщано-щебенисті; 2 – важкі суглинисті;
3 – середньо-суглинисті

Результати досліджень свідчать, що інтенсивність зношування носку (рис. 5, *а*) стрілчастих лап культиваторів на різних типів ґрунтів у 1,8...2,5 рази вище, ніж середини їх різальної частини (рис. 5, *б*). Виявляються дві умовні стадії процесів зношування: на першій – криволінійна залежність зносу від напрацювання з тенденцією зменшення його інтенсивності, а на другій – лінійна залежність [19, 20].

Зношування різальних елементів робочих органів в абразивному середовищі ґрунту приводить до зміни їх профілів (рис. 6).

Рисунок 6 – Характер зміни профілю різальних елементів стрілчастих лап на різних ґрунтах:
а і *б* – суглинні; *в* і *г* – глинисті (напрацювання 40 і 80 Га)

Останнє впливає на стійкість ходу робочих органів по глибині та на зміну вертикальної сили реакції ґрунту [21]. Зазначимо, що у нових робочих органах ґрунтообробних машин ця сила спрямована вниз. Одночасно з напрацюванням робочих органів спостерігається зростання горизонтальної складової, тягового опору [22] і збільшення товщини різального елементу [23]. Дослідження [24] свідчать, що внаслідок зношування робочих органів і збільшення товщини різального елементу від 0,2...0,3 мм до 0,8...1,2 мм тяговий опір підвищується на 7...14%, а до 2 мм – відповідно на 34%. Згідно ДСТУ 7328:2013 для різних типів робочих органів існує гранична товщина різальних елементів: для стрілчастих лап культиваторів при експлуатації на чорноземних ґрунтах і швидкості руху агрегату до 10 км/год гранична товщина не повинна перевищувати 0,8 мм, а при більш високих швидкостях – 0,8...1,0 мм. Якщо основною метою обробки ґрунту є підтримка його верхнього шару в рихлому стані, при малій кількості бур'янів, то ця величина може бути збільшена до 1,4 мм. Інтенсивність зношування істотно залежить від вологості ґрунту [25, 26]: зі зменшенням вологості верхня грань різального елементу стрілчастої та односторонньої лап зношується більш інтенсивно. При високій вологості (22...28 %) загальний їх знос значно знижується через налипання вологого ґрунту. Зазначимо, що на інтенсивність зношування також впливає щільність ґрунту [27, 28]. Для підвищення зносостійкості робочих органів і якісного виконання ними функцій зміцнюють їх робочі поверхні з урахуванням умов експлуатації, характеристик і властивостей матеріалів та типів ґрунтів. Зміцнення намагаються здійснити такими способами, щоб в експлуатації реалізувати ефект самоорганізації форми різального елементу (самозагострювання), при якому істотно знижується процес зношування [29, 30].

У різних галузях народного господарства, у тому числі і при ремонті деталей транспортних засобів, застосовується велика кількість методів і способів відновлення деталей [2, 3]. Аналіз даних [5] дозволяє зробити висновок, що частка деталей, що відновлюються на підприємствах агропромислового комплексу наплавленням, газотермічними, електрохімічними та іншими методами, що найчастіше застосовуються, становить:

– методами наплавлення - 34,4%;
– способами газотермічного напилення - 26,1%;
– електрохімічними покриттями - 20,4%;
– іншими методами - 19,1%.

Нанесення покриттів методами наплавлення посідає перше місце серед використовуваних технологій. В останні роки набуло розвитку застосування композиційних матеріалів, отриманих з використанням СВС-процесу, для наплавлення поверхонь деталей машин, що працюють в умовах абразивного середовища [31, 32].

Способи газотермічного напилення, що займають в даний час за обсягом деталей, що відновлюються, 2 місце, використовуються на підприємствах з середини 70 років. Слід зазначити, що основна частка деталей, що відновлюються газотермічними покриттями (94%), займає газополуменеве напилення (ГПН).

Якість відремонтованих деталей визначається технологічними можливостями процесу відновлення, внаслідок яких формуються фізико-механічні властивості та структурний стан матеріалу, геометрія та інші характеристики поверхні. Також важливі і супутні процеси, такі як

поширення теплоти, зміна структури основного металу в зоні термічного впливу, виникнення залишкових напруг та деформацій. Для забезпечення надійної захисної дії покриття на основу необхідно прагнути послабити вплив залишкових напруг, кисню, дефектності покриття.

При ситуації, що склалася, необхідно розробити систему відновлювального ремонту деталей машин, що враховує тип сполучення й спосіб відновлення зношеної поверхні, розробку технологічної документації, що забезпечує одержання заданої якості відновленої поверхні деталі, підготовку кваліфікованих фахівців.

Висновки. На основі комплексної оцінки автотракторних деталей і сільськогосподарських машин, що визначають ресурс, встановлено, що абразивне зношування превалює над усіма іншими видами зношування: близько 40% деталей мають чисто абразивне зношування й 50% – абразивне зношування в комбінації з іншими видами зношування й руйнувань поверхневого шару, близько 83% деталей машин має зношування до 0,6 мм.

Аналіз методів та способів відновлення деталей машин показав, що частка деталей, що відновлюються на підприємствах агропромислового комплексу методами наплавлення та способами газотермічного напилення, становить понад 60% (34,4 та 26,1% відповідно).

Список літератури

1. Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Гаврилюк В.С. *Триботехника* [Текст]: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2012. 408 с.
2. Ли Р. И. *Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники*: учеб. пособие. Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2014. 379 с.
3. Касьянов В.Е., Теплякова С.В. Обеспечение абсолютной безотказности деталей за заданный ресурс. *Научное обозрение*. 2014. № 9-3. С. 902–907.
4. Кушнарев Л. И. Чепурина Е. Л, Чепурин А. В., Кушнарев С. Л. Качество и надежность отечественной техники – основа ее конкурентоспособности. *Тракторы и сельхозмашины*. 2015. № 11. С. 35–37.
5. Лузан С.О. Комплексна оцінка номенклатури деталей, які визначають ресурс мобільної техніки та її безпеку. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. Харків: 2014. Вип. 148. С. 478–485.
6. Никитченко С.Л., Воронов Е.В. Причинные факторы снижения эксплуатационной надежности сельскохозяйственной техники. *Вестник НГИЭИ*. 2020. № 2. С. 56–66.
7. Doshchechkina I., Tatarkina I., Storchak O. Enhancement of durability of tractor suspension axles. *Автомобильный транспорт*. 2017. Вып. 41. С. 38–42.
8. Евсеев К.Б. Разработка иерархии эксплуатационных свойств транспортных средств для перевозки тяжелых неделимых грузов в условиях крайнего севера. *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева*. 2021. № 2. С. 74–84. DOI: 10.46960/1816-210X.
9. Іванишин В., Ілляшик В., Дуганець В. Аналіз конструкцій і приставок до зернозбиральних комбайнів та особливості їх використання на збиранні сої та ріпаку. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження*. 2016. № 20. С. 187–197.
10. Сидоров С. А., Миронов Д. А., Ценч Ю. С., Миронова А. В. Оценка износостойкости и ресурса двухслойных упрочненных почворежущих рабочих органов в различных почвенных условиях. *Инженерные технологии и системы*. 2020. Том 30, № 4. С. 699–710. DOI: 10.15507/2658-4123.030.202004.699-710.
11. Sidorov S. A., Mironov D. A., Khoroshenkov V. K., Khlusova E. I. Surfacing Methods for Increasing the Service Life of Rapidly Wearing Working Tools of Agricultural Machines. *Welding International*. 2016, vol. 30, iss. 10, pp. 808–812. DOI: 10.1080/09507116.2016.1148408.
12. Аулін В.В. *Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки*: Дис. ... д-ра техн. наук / В.В. Аулін. Кіровоград, 2014. 447 с.
13. Дудников А.А., Беловод А.И., ПасютаА.Г., Келемеш А.А., Горбенко А.В. Технологические способы повышения долговечности и ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин. *Машиноведение и машиностроение. Технологический аудит и резервы производства*. 2015. № 5/1(25). С. 4–7. DOI: 10.15587/2312-8372.2015.48825.
14. Новиков В.С., Петровский Д.И. Повышение долговечности стрельчатых лап культиваторов. *Вестник ФГОУ ВПО МГАУИ имени В.П. Горячкина*. 2017. № 4(80). С. 49–55.
15. Ахметишин Т.Ф. Повышение износостойкости и долговечности почвообрабатывающих рабочих органов. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета. Агроинженерия*. 2013. № 3 (41). С. 81–84.
16. Sidorov S. A., Mironov D. A., Khoroshenkov V. K., Khlusova E. I.. Surfacing Methods for Increasing the Service Life of Rapidly Wearing Working Tools of Agricultural Machines. *Welding International*. 2016, vol. 30, iss. 10, pp. 808–812.
17. Аулін В.В. *Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія*. Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. 370 с.
18. Sidorov S. A., Lobachevskii Ya. P., Khoroshenkov V. K. [et al.] Wear and Breakage Resistance of Hard Alloy Coatings Strengthened with Tungsten Carbide. *Metallurgist*. 2018, vol. 61, pp. 1023–1028. DOI: 10.1007/s11015-018-0602-5.
19. Семчук Г.И. Динамика изнашивания лап культиваторов. *Технологический аудит и резервы производства*. 2013. № 6/5(14). С. 27–28.
20. Mudarisov S. G., Gabitov I. I., Lobachevsky Y. P. [et al.]. Modeling the Technological Process of Tillage. *Soil & Tillage Research*. 2019, vol. 190, pp. 70–77.
21. Семкин Д.С. О влиянии скорости рабочих органов землеройных машин на силу сопротивления грунта резанию. *Вестник СибАДИ*. 2017. Вып. 1(53). С. 37–43.
22. Николаев В.А. Расчет затрат энергии на резание грунта горизонтальным лезвием путем анализа процесса. *Научно-технический вестник Брянского государственного университета*. 2019. №2 С. 243–250.
23. Казаков Ю. Ф. Анализ процесса рыхления почвы как системы. *Вестник НГИЭИ*. 2017. № 5 (72). С. 26–33.
24. Мударисов С.Г., Аминов Р.И., Фархутдинов И.М., Мухаметдинов А.М., Реймер В.В. Результаты агротехнической и энергетической оценки культиватора для полосовой обработки почвы под технические культуры. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 2 (82). С. 141–144.
25. Алексеев В.В., Максимов И.И., Мишин И.И. Получение функциональной зависимости для коэффициента трения в почвах. *Вестник НГИЭИ*. 2018. № 5 (84). С. 34–43.
26. Максимов И. И., Алексеев В. В. *Гидрофизика почв в мелиорации*: Монография. Чебоксары: Новое время, 2017. 280 с.
27. Коршунов В.Я. Прогнозирование срока службы плужных лемехов при обработке почв с разным фракционным составом абразивных частиц. *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 6(82). С. 49–55.
28. Грядунов С.С., Сиваков В.В. Применение наплавочных материалов для повышения долговечности рабочих органов дисковых борон. *Инженерные технологии и системы*. 2021. Том 31, № 4. С. 544–558.
29. Ryabov V. V., Motovilina G. D., Khlusova E. I. [et al.]. Study of the Structure of New Wear-Resistant Steels for Agricultural Machinery Components After Operational Tests. *Metallurgist*. 2016, vol. 60, pp. 839–844. DOI: 10.1007/s11015-016-0374-8.
30. Максимов И. И., Максимов В. И., Михайлов А. Н., Алексеев В. В. Оценка эффективности функционирования системы машина – почва – растение. *Тракторы и сельхозмашины*. 2013. № 11. С. 28–34.
31. Luzan, S.A., Sidashenko, A.I., Luzan, A.S. Composite material for hardening of tillage machines working bodies containing titanium and chromium borides synthesized using shs-process. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, 2020, vol. 42(4), pp. 541-552. DOI: https://doi.org/10.15407/mfint.42.04.0541.
32. Luzan S.O., Luzan A.S. Microstructure and Abrasive Wear Resistance of Deposited Materials of the Ni–Cr–B–Si System with Inclusions of Dispersed Phases. *Materials Science*, 2020, vol. 56 (3), pp. 381-388. DOI: 10.1007/s11003-020-00441-x.

References (transliterated)

1. Garkunov D.N., Mel`nikov E`.L., Gavrilyuk V.S. *Tribotekhnika [Tekst]: uchebnoe posobie*. M.: KNORUS, 2012. 408 p.
2. Li R. I. *Tekhnologii vosstanovleniya i uprochneniya detalej avtotraktornoj tekhniki: ucheb. posobie*. Lipeczk: Izd-vo LGTU, 2014. 379 p.
3. Kas`yanov V.E., Teplyakova S.V. Obespechenie absolyutnoj bezotkaznosti detalej za zadanny`j resurs. Nauchnoe obozrenie. 2014, no. 9 -3, pp. 902–907.
4. Kushnarev L. I. Chepurina E. L, Chepurin A. V., Kushnarev S. L. Kachestvo i nadezhnost` otechestvennoj tekhniki – osnova ee konkurentosposobnosti. *Traktory` i sel`khozmashiny`*. 2015, no. 11, pp. 35–37.
5. Luzan S.O. Kompleksna oczi`nka nomenklaturi detalej, yaki` viznachayut` resurs mobi`l`noyi tekhni`ki ta i`yi bezpeku. *Vi`snik KhNTUSG i`m. P. Vasilenka.* Kharki`v: 2014, vol. 148, pp. 478–485.
6. Nikitchenko S.L., Voronov E.V. Prichinny`e faktory` snizheniya e`kspluatacczionnoj nadyozhnosti sel`skokhozyajstvennoj tekhniki. *Vestnik NGIE`I.* 2020, no. 2, pp. 56–66.
7. Doshchechkina I., Tatarkina I., Storchak O. Enhancement of durability of tractor suspension axles. *Avtomobil`ny`j transport*. 2017, vol. 41, pp. 38–42.
8. Evseev K.B. Razrabotka ierarkhii e`kspluatacczionny`kh svojstv transportny`kh sredstv dlya perevozki tyazhely`kh nedelimy`kh gruzov v usloviyakh krajnego severa. *Trudy` NGTU im. R.E. Alekseeva.* 2021, no. 2, pp. 74–84. DOI: 10.46960/1816-210X.
9. Г`vanishin V., Г`li`yashik V., Duganecz` V. Anali`z konstrukczi`j i` pristavok do zernozbiral`nikh kombajni`v ta osoblivosti` yikh vikoristannya na zbiranni` soyi ta ri`paku. *Vi`snik L`vi`vs`kogo naczi`onal`nogo agrarnogo uni`versitetu. Agroi`nzhenerni` dosli`dzhennya.* 2016, no. 20, pp. 187–197.
10. Sidorov S. A., Mironov D. A., Czench Yu. S., Mironova A. V. Oczenka iznosostojkosti i resursa dvukhslojny`kh uprochnenny`kh pochvorezhushhikh rabochikh organov v razlichny`kh pochvenny`kh usloviyakh. *Inzhenerny`e tekhnologii i sistemy`*. 2020, vol. 30, no. 4, pp. 699–710.
11. Sidorov S. A., Mironov D. A., Khoroshenkov V. K., Khlusova E. I. Surfacing Methods for Increasing the Service Life of Rapidly Wearing Working Tools of Agricultural Machines. *Welding International*. 2016, vol. 30, iss. 10, pp. 808–812.
12. Aulin V.V. Tribophysical bases for the improvement of the wear resistance of parts and working bodies of agricultural technology: Dis. ... Dr. tech. Sciences / V.V. Aulin. Kirovograd, 2014. 447 p.
13. Dudnikov A.A., Belovod A.I., PasyutaA.G., Kelemesh A.A., Gorbenko A.V. Tekhnologicheskie sposoby` povy`sheniya dolgovechnosti i resursa rabochikh organov pochvoobrabaty`vayushhikh mashin. Mashinovedenie i mashinostroenie. *Tekhnologicheskij audit i rezervy` proizvodstva.* 2015, no. 5/1(25), pp. 4–7.
14. Novikov V.S., Petrovskij D.I. Povy`shenie dolgovechnosti strel`chaty`kh lap kul`tivatorov. *Vestnik FGOU VPO MGAUI imeni V.P. Goryachkina*. 2017, no. 4(80), pp. 49–55.
15. Akhmetishin T.F. Povy`shenie iznosostojkosti i dolgovechnosti pochvoobrabaty`vayushhikh rabochikh organov. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Agroinzheneriya.* 2013, no. 3 (41), pp. 81–84.
16. Sidorov S. A., Mironov D. A., Khoroshenkov V. K., Khlusova E. I.. Surfacing Methods for Increasing the Service Life of Rapidly Wearing Working Tools of Agricultural Machines. Welding *International.* 2016, vol. 30, iss. 10, pp. 808–812.
17. Aulin V.V. *Fizychni osnovy protsesiv i staniv samoorhanizatsii v trybotekhnichnykh systemakh: monohrafiia.* Kirovohrad: Vyd. Lysenko V.F., 2014. 370 p.
18. Sidorov S. A., Lobachevskii Ya. P., Khoroshenkov V. K. [et al.] Wear and Breakage Resistance of Hard Alloy Coatings Strengthened with Tungsten Carbide. *Metallurgist*. 2018, vol. 61, pp. 1023–1028. DOI: 10.1007/s11015-018-0602-5.
19. Semchuk G.I. Dinamika iznashivaniya lap kul`tivatorov. *Tekhnologicheskij audit i rezervy` proizvodstva*. 2013, no. 6/5(14), pp. 27–28.
20. Mudarisov S. G., Gabitov I. I., Lobachevsky Y. P. [et al.]. Modeling the Technological Process of Tillage. *Soil & Tillage Research*. 2019, vol. 190, pp. 70–77.
21. Semkin D.S. O vliyanii skorosti rabochikh organov zemlerojny`kh mashin na silu soprotivleniya grunta re zaniyu. *Vestnik SibADI*. 2017, vol. 1(53), pp. 37–43.
22. Nikolaev V.A. Raschyot zatrat e`nergii na rezanie grunta gorizontal`ny`m lezviem putyom analiza proczessa. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2019, no. 2, pp. 243–250.
23. Kazakov Yu. F. Analiz proczessa ry`khleniya pochvy` kak sistemy`. *Vestnik NGIE`I.* 2017, no. 5 (72), pp. 26–33.
24. Mudarisov S.G., Aminov R.I., Farkhutdinov I.M., Mukhametdinov A.M., Rejmer V.V. Rezul`taty` agrotekhnicheskoj i e`nergeticheskoj oczenki kul`tivatora dlya polosovoj obrabotki pochvy` pod tekhnicheskie kul`tury`. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2020, no. 2 (82), pp. 141–144.
25. Alekseev V.V., Maksimov I.I., Mishin I.I. Poluchenie funkczional`noj zavisimosti dlya koe`fficzienta treniya v pochvakh. *Vestnik NGIE`I.* 2018, no. 5 (84), pp. 34–43.
26. Maksimov I. I., Alekseev V. V. *Gidrofizika pochv v melioraczii : Monografiya.* Cheboksary` : Novoe vremya, 2017. 280 p.
27. Korshunov V.Ya. Prognozirovanie sroka sluzhby` pluzhny`kh lemekhov pri obrabotke pochv s razny`m frakczionny`m sostavom abrazivny`kh chasticz. Vestnik *Bryanskoj gosudarstvennoj se`skokhozyajstvennoj akademii.* 2020, no. 6(82), pp. 49–55.
28. Gryadunov S.S., Sivakov V.V. Primenenie naplavochny`kh materialov dlya povy`sheniya dolgovechnosti rabochikh organov diskovy`kh boron. Inzhenerny`e tekhnologii i sistemy`. 2021, vol. 31, no. 4, pp. 544–558.
29. Ryabov V. V., Motovilina G. D., Khlusova E. I. [et al.]. Study of the Structure of New Wear-Resistant Steels for Agricultural Machinery Components After Operational Tests. *Metallurgist*. 2016, vol. 60, pp. 839–844. DOI: 10.1007/s11015-016-0374-8.
30. Maksimov I. I., Maksimov V. I., Mikhajlov A. N., Alekseev V. V. Oczenka e`ffektivnosti funkczionirovaniya sistemy` mashina – pochva – rastenie. *Traktory` i sel`khozmashiny`*. 2013, no. 11, pp. 28–34.
31. Luzan, S.A., Sidashenko, A.I., Luzan, A.S. Composite material for hardening of tillage machines working bodies containing titanium and chromium borides synthesized using shs-process. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, 2020, vol. 42(4), pp. 541-552.
32. Luzan S.O., Luzan A.S. Microstructure and Abrasive Wear Resistance of Deposited Materials of the Ni–Cr–B–Si System with Inclusions of Dispersed Phases. *Materials Science*, 2020, vol. 56 (3), pp. 381-388. DOI: 10.1007/s11003-020-00441-x.

Надійшла (received) 14.02.2022

Відомості про авторів /Сведения об авторах /About the Authors

Лузан Сергій Олексійович (Лузан Сергей Алексеевич, Luzan Sergii) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «Зварювання», м. Харків, Україна; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4808-0017; тел.: (057) 707-65-21; e-mail: khadi.luzan@gmail.com.

Бантковський Вячеслав Анатолійович (Бантковский Вячеслав Анатольевич, Bantkovskiy Viacheslav) – доцент, Державний біотехнологічний університет, доцент кафедри «Технологічні системи ремонтного виробництва та технологія матеріалів», м. Харків, Україна; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0275-4848; e-mail: bantkovskiy@ukr.net