

УДК 621.77.01

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).1.175-186](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.175-186)**О. В. Іванкова**, доц., канд. техн. наук, **В. О. Федін***Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна**e-mail: olena.ivankova@pdau.edu.ua, vitalii.fedin@pdau.edu.ua*

Дослідження відновлення деталей шестеренних насосів пластичним деформуванням

Відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки дає змогу суттєво скоротити час простою машин, а також підвищити якість ремонту та позитивно впливати на показники довговічності машин. На зараз існує потреба в дослідженнях використання технологій, що ґрунтуються на пластичній деформації у ремонті конкретних деталей. Актуальним наразі є аналіз можливості застосування пластичного деформування у відновленні зношених втулок шестеренних насосів гідросистем автотракторної техніки. Для цього дослідили залежність зміни об'єму втулки від зміни її геометричних параметрів при відновленні пластичним деформуванням (осадженням).

У статті представлено результати досліджень по підвищенню ефективності технічного сервісу гідравлічних систем автотракторної техніки шляхом вдосконалення технології відновлення втулок шестеренних насосів методом пластичної деформації, з урахуванням закономірностей зношування та об'ємних характеристик деталей. Приведені результати техніко-аналітичного огляду конструкції та функціональних характеристик шестеренних насосів як елементів гідравлічних систем. Проаналізовано закономірності зношування втулок на основі мікрометричних досліджень. Розроблена методика геометричного моделювання втулок та здійснено розрахунок їх об'ємних параметрів. Досліджено залежність об'єму втулок від величини зносів втулок по висоті та по внутрішньому діаметру. Встановлена залежність зміни об'єму втулки від зміни її розмірів. Побудована аналітична модель залежності об'єму втулки від основних геометричних параметрів. Обґрунтована доцільність використання способу осаджування як ефективного інженерного рішення при відновленні конкретних деталей, а саме, втулок шестеренних насосів гідравлічних систем автотракторної техніки.

насос, відновлення, довговічність, зношування, об'єм, пластичне деформування, осаджування.

Постановка проблеми. Деталі тракторів, автомобілів та іншої техніки працюють в умовах знакозмінних навантажень та часто піддаються інтенсивному тертю. Якщо розглядати гідравлічні системи техніки, то у таких режимах працює переважна більшість деталей. Тому, для саме таких деталей потрібно розробити технології відновлення розмірів та зміцнення поверхонь, які найбільш інтенсивно зношуються [1, 2, 3].

Методи, що ґрунтуються на використанні пластичної деформації, можуть ефективно застосовуватися для відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки. Технології, які включають пластичне деформування сприяють формуванню зносостійкої поверхневої структури, практично не дають зону термічного впливу, мають високі економічні та екологічні параметри.

При розробці технологій відновлення із застосуванням пластичного деформування нас насамперед цікавить характер деформації: характер напружено-деформованого стану матеріалу деталей, вплив на нього параметрів технологічного процесу [4].

У дослідженнях по розробці технології відновлення зношених деталей розглядаються процеси осаджування та роздачі деталей типу втулок. Суть процесу осаджування втулок полягає у тому, що компенсація зношеного шару матеріалу буде здійснюватися зменшенням висоти втулки. Отже, при розробці осаджуванні деталей-втулок важливим є вивчення залежності об'єму втулки від параметрів режимів обробки.

Вивчення характеру деформації зразків-втулок у відповідності зі зміною параметрів деформування забезпечується використанням методів дослідження: аналітичних

(розрахункових), експериментальних, методів, які ґрунтуються на імітаційному моделюванні [5]. Було вирішено, що для дослідження залежності зміни об'єму втулки від зміни параметрів обробки при осаджуванні деталей застосувати комбіновані експериментально-розрахункові методи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Методи та способи підвищення надійності техніки постійно цікавлять як виробників, так і науковців. Значна кількість досліджень видатних науковців мають напрямок на підвищення надійності машин. Дані літературних джерел містять результати проведених досліджень у галузі відновлення зношених деталей машин та зміцнення їх поверхонь, що приводить до підвищення надійності та довговічності машин [6, 7, 8]. Висновки по застосуванню у технічному сервісі технологій ремонту із зміцненням деталей базуються на ґрунтовному аналізі теоретичних, розрахункових досліджень, а також результатів практичних випробувань.

Щодо застосування технологій з використанням пластичної деформації, то в літературі є досить багато даних по використанню їх у машинобудуванні та у технічному сервісі. Переважно висвітлюють технології обробки із застосуванням пластичного деформування окремих деталей. І, переважно, при виготовленні деталей машин. Пластичне деформування у технічному сервісі при відновленні зношених деталей, на нашу думку, не мають достатнього висвітлення у літературі.

Здійснення пластичного деформування можливе через різноманітні схеми навантаження. Питання міцності, пластичності, впливу напружено-деформованого стану, дії залишкових внутрішніх напружень висвітлюються в багатьох наукових роботах.

Дослідженнями трибофізичних основ підвищення довговічності автотранспортної та сільськогосподарської техніки займається професор Аулін В.В. [5]. Також, науковці під його керівництвом працюють над розробкою технологій відновлення зношених деталей Трибофізичні властивості матеріалів деталей та трибофізичні явища при здійсненні пластичної деформації є одним з основних факторів, які впливають на перебіг пластичної деформації.

Вивчають закономірності розвитку немонотонної пластичної деформації при обробці металів тиском багато науковців у співпраці з виробниками. Основною метою таких досліджень є розробка оцінки напружено-деформованого стану деталей. Науковці: Р. І. Сивак, В. А. Огородніков, Т. Ф. Архіпова мають значні напрацювання у цій галузі [6].

Вивчення процесів зміцнення поверхневим пластичним деформуванням циліндричних довгомірних деталей, зокрема залізничних вагонів проводять Афтаназів І., Шевчук Л., Строган О. [8].

Питаннями деформування сталевих та бронзових деталей займаються науковці школи професора Дуднікова А.А. Основним напрямком досліджень є підвищення надійності деталей при їх відновленні із застосуванням вібраційного деформування [9].

Механізми протікання процесів локального деформування матеріалів завжди викликали надзвичайне зацікавлення науковців. Ці питання в своїх працях досліджують науковці Матвийчук В. А., Михалевич В. М. та інші [10, 11]. Сивак Р. І з колегами проводять дослідження напружено-деформованого стану порожнистих виробів [12, 13, 14]. Ними розроблені критерії оцінки рівня деформованості металу при прямому і зворотному витискуванні при штампуванні металевих зразків.

Залишкові внутрішні напруження, що виникають в процесі деформування деталей мають значний вплив на результат деформування. Визначення залишкових напружень – дуже важлива задача. Над розв'язанням її працює багато науковців [14, 15].

У теорії та практиці використання пластичного деформування одним з найменш вивчених питань залишається характер деформації при відновленні, а також залежності зміни об'єму втулки від зміни режимів деформування.

Постановка завдання. Метою роботи є підвищення ефективності технічного сервісу гідравлічних систем автотракторної техніки шляхом вдосконалення технології відновлення втулок шестеренних насосів методом пластичної деформації, з урахуванням закономірностей зношування та об'ємних характеристик деталей. Для досягнення мети потрібно вирішити наступні завдання:

1. Провести техніко-аналітичний огляд конструкції та функціональних характеристик шестеренних насосів як елементів гідравлічних систем.
2. Ідентифікувати закономірності зношування втулок на основі мікрометричних досліджень з метою встановлення типових дефектів та критичних зон втрат металу.
3. Розробити методику геометричного моделювання втулок з подальшим розрахунком їх об'ємних параметрів на основі складових геометричних фігур.
4. Побудувати аналітичну модель залежності об'єму втулки від основних геометричних параметрів (висоти та внутрішнього радіуса) з метою прогнозування металовитрат у процесі відновлення.
5. Обґрунтувати доцільність використання способу осаджування як ефективного інженерного рішення при відновленні торцевих поверхонь втулок.
6. Розробити рекомендації щодо удосконалення ремонтних процесів на основі отриманих емпіричних та теоретичних результатів

Виклад основного матеріалу. Шестерний насос - універсальний пристрій, який є невід'ємною частиною гідравлічних машин. Він призначений для перекачування рідин різної в'язкості: мастил, палива та інших.

За рахунок обертання двох шестерень створюється рівномірний потік без перепадів тиску, що забезпечує стабільну подачу рідини. Завдяки простоті конструкції шестеренні насоси мають досить тривалий термін служби. Легко розбираються для діагностики та ремонту; можлива швидка заміна окремих частин без складного сервісного обслуговування [1, 2].

Схема роботи шестеренного насосу: в корпусі ведуча та ведена шестерні однакової довжини, знаходяться в зачепленні одна з одною. Зазор між шестернями повинен бути мінімальним. Торцеві поверхні шестерень прилягають до стінок корпусу. Рідина, яка перекачується заповнює впадини між зубцями шестерень, звідти перетікає по внутрішній поверхні корпусу у порожнину нагнітання.

Робоча рідина може витікати через зазори між корпусом та вершинами зубців шестерень, а також між їх торцями та боковими стінками корпусу. Протікання можуть утворюватися по лінії контакту зубців. Усі види втрат рідини враховуються через коефіцієнт корисної дії насосу, максимальне значення якого знаходиться в межах 0,8...0,95 [3, 4]. Щоб досягнути таких значень, необхідно знизити торцеві витікання. Для цього бічні стінки автоматично притискаються до поверхонь торців шестерень робочою рідиною під дією робочого тиску

Основні несправності шестеренних насосів: наявність граничних зносів деталей, порушення регулювань агрегатів. Основними видами зношування деталей гідроагрегатів є: абразивний та гідроабразивний. Саме це, та ще старіння гумових ущільнень вузлів призводить до утворення протікань робочої рідини, через що падає об'ємний коефіцієнт корисної дії.

Розбирання негативно впливає на герметичність з'єднань шестеренних насосів, і знижує довговічність його вузлів. Тому технічний стан агрегатів гідросистеми встановлюють переважно шляхом діагностування на спеціальних стендах. Якщо під час випробування коефіцієнт подачі насоса виявиться меншим за показник 0,65, то насос необхідно ремонтувати.

Насоси шестеренного типу можуть отримувати зноси стінок колодязів корпусу з боку камери всмоктування з шестернями, втулками, опорною поверхнею під втулками, а також з поверхнями під ущільнювальною манжетою. Також можуть утворюватися

раковини, і, навіть тріщини на поверхні деталей, зрив чи зноси різьби під болти кріплення кришок та муфт до корпусу.

Для недопущення падіння коефіцієнта корисної дії насоса важливим є задача зниження торцевих протікань. Втулки призначені для ущільнення торців шестерень насоса. Лиски втулок відділяють камери нагнітання і всмоктування. Корпус і зовнішня поверхня розмежовують камеру всмоктування і камеру високого тиску. Втулки насоса виконують також функцію підшипників, у яких обертаються цапфи шестерень. Тому, якість відновлення втулок має велике значення, так, як безпосередньо впливає на ресурс відремонтованого насоса [2, 4].

Втулки шестеренних насосів, виготовляються з алюмінієвих сплавів, зокрема, зі сплаву АМО 3-7 (ISO 209-1) [1]. Працюючи в парі із сталевими шестернями, втулки часто мають вплив агресивного середовища, сприймають знакозмінні навантаження і температурні перепади. Через це утворюються внутрішні термічні напруження, які, в купі з іншими факторами приводить до нерівномірного зношування поверхонь тертя цих деталей з утворенням задирів та натирань.

Основними видами зношування втулок є: зношування поверхні торця втулки, яка є спряженою з шестернею, зношування: внутрішньої циліндричної поверхні, малої циліндричної поверхні хвостовика втулки, зношування великої циліндричної поверхні і малої торцевої поверхні в спряженні з ущільнювальною манжетою та корпусом насосу.

На роботоздатність і довговічність шестеренного насоса після ремонту безпосередній вплив має якість відновлення його деталей.

У практиці технічного сервісу широко використовується декілька способів відновлення втулок шестеренних насосів: 1- переплавленням, 2 – нарощуванням, 3 - пластичним деформуванням [4, 7, 9].

Відновлення переплавленням втулок, які були вибракувані зараз використовується досить широко. Але переплавлення має недоліки: суттєві витрати на електроенергію та на механічну обробку переплавленої деталі. Тим більш, що під час переплавлення вигорають легуючі елементи алюмінієвого сплаву, у результаті чого відбувається порушення хімічного складу. Тому спосіб переплавлення зараз не можна вважати прогресивним.

Нарощування зношених поверхонь втулок при відновленні можна виконати декількома способами: шляхом нанесення гальванічних покриттів, покриттям зношених поверхонь полімерами, мідненням, а також методами термодифузійної металізації. Усі ці способи мають гарні результати, але вимагають застосування доволі складного технологічного обладнання та є енергомісткими.

Метод додаткових ремонтних деталей у наш час для відновлення роботоздатності агрегатів гідравлічної системи сільськогосподарської техніки практично не використовується.

Метод пластичного деформування ґрунтується на їх здатності деталей змінювати форму і розміри за рахунок перерозподілу металу деталі при прикладенні до неї зусилля. Цей метод можливо застосовувати як з нагріванням деталі, так і без нагрівання [9, 10, 13].

Суть способу осаджування полягає у тому, що компенсація зношеного шару матеріалу забезпечується шляхом зменшення висоти деталі (втулки). А висота втулка відновлюється або постановкою алюмінієвої шайби, або зменшенням висоти колодязів корпусу насоса.

Осаджування втулок може здійснюватися на гідравлічних пресах (наприклад, П474Б) при тиску $P=430...450$ МПа і з витримкою втулки під тиском протягом 2...3 секунд. Перед осадженням втулки необхідно нагрівати до температури $T=450...500^{\circ}\text{C}$, тому, що при холодній деформації сплав АМО-7-3 може розтріскуватися [4, 6].

Застосування пластичного деформування має переваги: порівнянна простота виконання і незначні затрати допоміжного металу. Недоліки способу полягають в тому,

що є потреба у додатковій алюмінієвій шайбі, а також має місце погіршення механічних властивостей матеріалу деталей, що були відновлені.

Форма і розміри втулок шестеренних насосів, пластичні властивості матеріалу втулок, дозволяють використовувати окремі неробочі поверхні, або спеціально передбачені для запасу металу при відновленні їх методом пластичного деформування. Об'єм металу деталі повинен залишатися постійним.

Були проведені дослідження 10 пар втулок по зносу зовнішньої та торцевої поверхонь. В результаті цього виявили найбільше значення зносу спряження торцевих поверхонь втулки та шестерні. На рисунку 1 приведена діаграма результатів мікрометражу 20 шт. втулок насосів по зовнішньому діаметру. А рисунок 3 - діаграма зносу поверхні торця зношених втулок.

Найбільш інтенсивно зношування відбувається у спряженні «торець шестерні - торець втулки». Було досліджено понад 20 пар втулок. Зроблено мікрометраж зовнішньої, внутрішньої та торцевої поверхонь (рис. 1). В результаті отримано значення зносу поверхонь втулки, які приводимо у вигляді діаграм на рисунку 2.

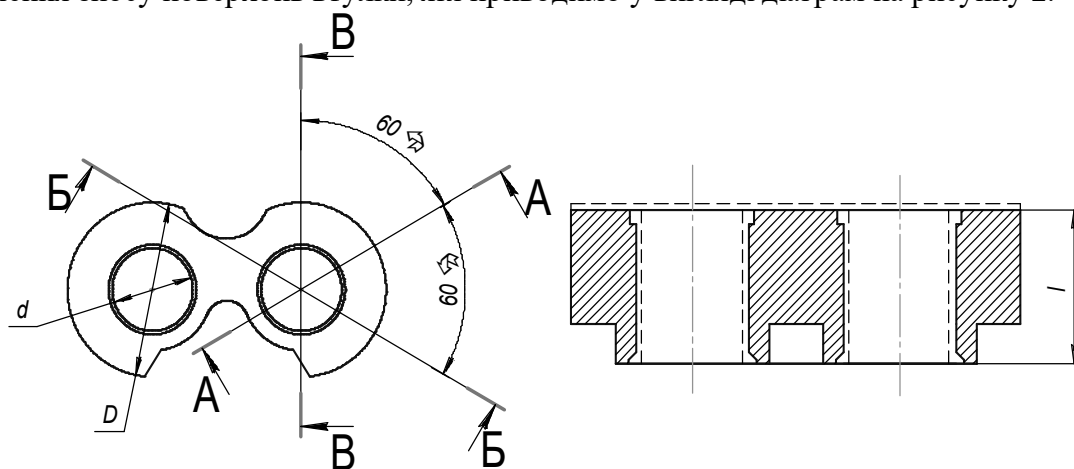


Рисунок 1 - Схема мікрометражу зношених втулок

Джерело: розроблено на підставі [1, 4]

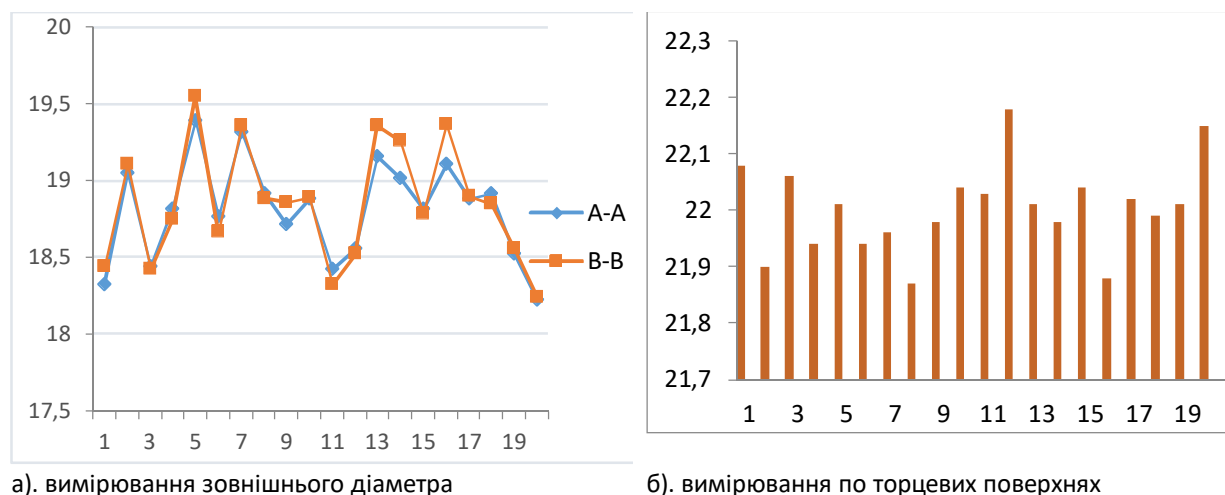


Рисунок 2 – Результати вимірювання зношених втулок насоса

Джерело: розроблено авторами

З графіків видно, що знос втулок по зовнішньому діаметру знаходиться в межах від 0,08 до 0,16 мм. Результати вимірювань свідчать, що спостерігається конусність по зовнішньому діаметру втулок в межах - 0,02...0,03мм.

Визначення об'єму втулок шестеренного насосу. Загальний об'єм втулки розраховуємо як сумарний об'єм її частин [16]. Для розрахунку об'єму втулка була розбита на частини, що дало змогу об'єднати наші розрахунки. В процесі розрахунків використовувались формули об'єму простих фігур.

Втулка має дві однаково симетричні частини, тому для полегшення розрахунків вона була умовно розділена на дві рівні частини.

$$S_{1-9} = S_1 - S_2 - S_3 - S_4 + S_5 - S_6 + S_7 - S_8 - S_9 \quad (1)$$

Схеми вимірювання розмірів втулки для визначення об'єму приведені на рисунках 3...4.

Визначаємо площу круга 1:

$$S_1 = \pi \cdot R_1^2, \quad (2)$$

$$S_1 = 3,14 \cdot 19,31^2 = 1169,62 \text{ мм}^2$$

Визначаємо площу круга 2:

$$S_2 = \pi \cdot R_2^2,$$

$$S_2 = 3,14 \cdot 9^2 = 262,31 \text{ мм}^2$$

Визначаємо площу дуги круга 3:

$$S_3 = \frac{1}{2} R_1^2 (\pi \cdot \frac{\alpha_1}{180^\circ} - \sin \alpha_1), \quad (3)$$

$$S_3 = \frac{1}{2} 19,31^2 (3,14 \cdot \frac{61^\circ 54'}{180^\circ} - \sin 61^\circ 54') = 36,99 \text{ мм}^2.$$

Площа різниці секторів 4:

$$S_4 = S_{41} + S_{42}, \quad (4)$$

$$S_{41} = \frac{1}{2} R_3^2 (\pi \frac{\alpha_3}{180^\circ} - \sin \alpha_3),$$

$$S_{41} = \frac{1}{2} 9,25^2 (\pi \frac{54^\circ 42'}{180^\circ} - \sin 54^\circ 42') = 5,91 \text{ мм}^2$$

$$S_{42} = \frac{1}{2} R_1^2 (\pi \frac{\alpha_2}{180^\circ} - \sin \alpha_2),$$

$$S_{42} = \frac{1}{2} 19,35^2 (3,14 \frac{26^\circ 38'}{180^\circ} - \sin 26^\circ 38') = 4,17 \text{ мм}^2.$$

$$S_4 = 5,91 + 4,17 = 10,08 \text{ мм}^2$$

Площа трикутника 5:

$$S_5 = \frac{AB \cdot AC}{2},$$

$$S_5 = \frac{2 \cdot 1,47}{2} = 1,47 \text{ мм}^2.$$

Площа дуги круга 6:

$$S_6 = \frac{S_1 - \pi R_4^2}{360^\circ} \cdot \alpha_4, \quad (5)$$

$$S_6 = \frac{S_1 - 3,14 \cdot 14,05^2}{360^\circ} \cdot 67^\circ 39' = \frac{(1169,62 - 44,147) 67,65}{360} = 111,49 \text{ мм}^2.$$

Площа трикутника 7:

$$S_7 = \frac{DG \cdot DF}{2},$$

$$S_7 = \frac{5,3 \cdot 4,41}{2} = 11,69 \text{ мм}^2$$

Визначаємо площу трапеції 8:

$$S_8 = \frac{KL + MN}{2} \cdot KM, \quad (6)$$

$$S_8 = \frac{4,56 + 5,3}{2} \cdot 1,07 = 5,28 \text{ мм}^2.$$

Площа сектора 9:

$$S_9 = \frac{\pi R_9^2}{360^\circ} \cdot \alpha_9,$$

$$S_9 = \frac{3,14 \cdot 4,56^2}{360^\circ} \cdot 62^\circ 06' = 11,01 \text{ мм}^2.$$

$$S_{1-9} = 758,46 \text{ мм}^2.$$

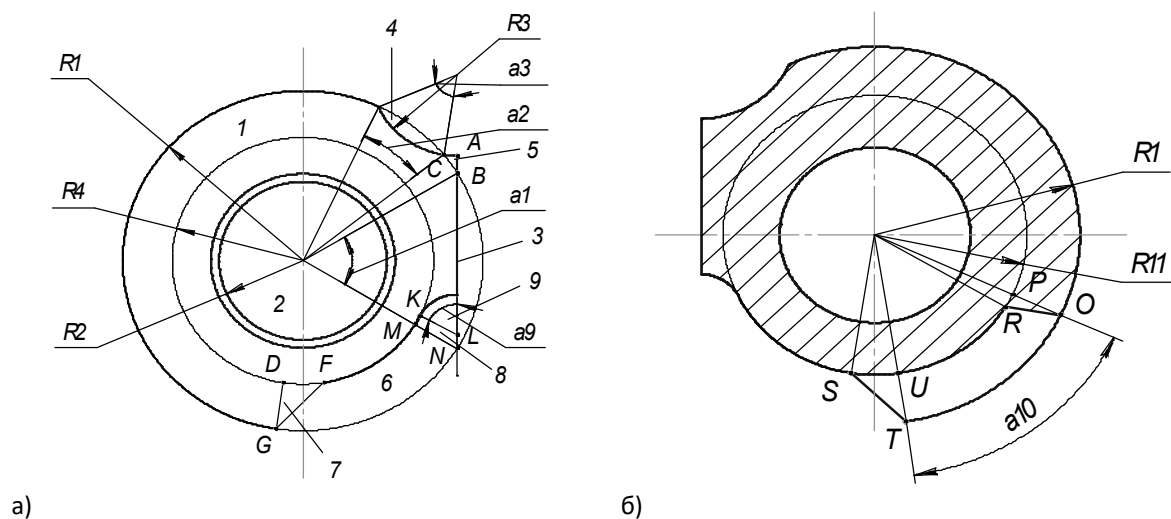


Рисунок 3 - Схема вимірювання розмірів втулки: а). основний вигляд; б) – вигляд А
Джерело: розроблено авторами

Визначаємо площу дуги круга 10:

$$S_{10} = \frac{\pi(R_1^2 - R_{10}^2)}{360^\circ} \cdot \alpha_{10} - S_{10-1} + S_{10-2}, \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
S_{10-1} &= \frac{OP \cdot PR}{2}, \\
S_{10-1} &= \frac{5 \cdot 1,07}{2} = 2,68 \text{ мм}^2. \\
S_{10-2} &= \frac{TU \cdot US}{2}, \\
S_{10-2} &= \frac{5 \cdot 4,45}{2} = 11,13 \text{ мм}^2. \\
S_{10} &= \frac{3,14(19,35^2 - 14,35^2)}{360^\circ} \cdot 54^\circ 40' - 2,68 + 11,13 = 66,55 \text{ мм}^2 \\
S_{11-18} &= S_{11} + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15} + S_{16} + S_{17} + S_{18}, \quad (8)
\end{aligned}$$

Визначаємо площу дуги кола 11:

$$\begin{aligned}
S_{11} &= \frac{R_{11}^2}{2} \left(\pi \frac{\alpha_{11}}{180^\circ} - \sin \alpha_{11} \right), \\
S_{11} &= \frac{2,97^2}{2} \left(3,14 \frac{138^\circ 20'}{180^\circ} - \sin 138^\circ 20' \right) = 7,71 \text{ мм}^2.
\end{aligned}$$

Площа дуги сектора 12:

$$\begin{aligned}
S_{12} &= \frac{\pi(R_{12}^2 - R_5^2)}{360^\circ} \cdot \alpha_{12}, \\
S_{12} &= \frac{3,14(14,35^2 - 12,3^2)}{360^\circ} \cdot 222^\circ 24' = 105,98 \text{ мм}^2.
\end{aligned}$$

Площа дуги сектора 13:

$$\begin{aligned}
S_{13} &= \frac{\pi(R_1^2 - R_{12}^2)}{360^\circ} \cdot \alpha_{13}, \\
S_{13} &= \frac{3,14(19,35^2 - 14,35^2)}{360^\circ} \cdot 147^\circ 28' = 216,74 \text{ мм}^2.
\end{aligned}$$

Площа трикутника 14:

$$\begin{aligned}
S_{14} &= \frac{VX \cdot XW}{2}, \\
S_{14} &= \frac{5 \cdot 4,45}{2} = 11,13 \text{ мм}^2.
\end{aligned}$$

Площа трикутника 15:

$$\begin{aligned}
S_{15} &= \frac{ZY \cdot YA1}{2}, \\
S_{15} &= \frac{2,05 \cdot 5,05}{2} = 5,18 \text{ мм}^2.
\end{aligned}$$

Площу трапеції 16 визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned}
S_{16} &= \frac{B1C1 + E1D1}{2} \cdot C1D1, \quad (9) \\
S_{16} &= \frac{4,38 + 3,72}{2} \cdot 5,39 = 21,83 \text{ мм}^2.
\end{aligned}$$

Площа дуги круга 17:

$$S_{17} = \frac{\pi R_{17}^2}{4},$$

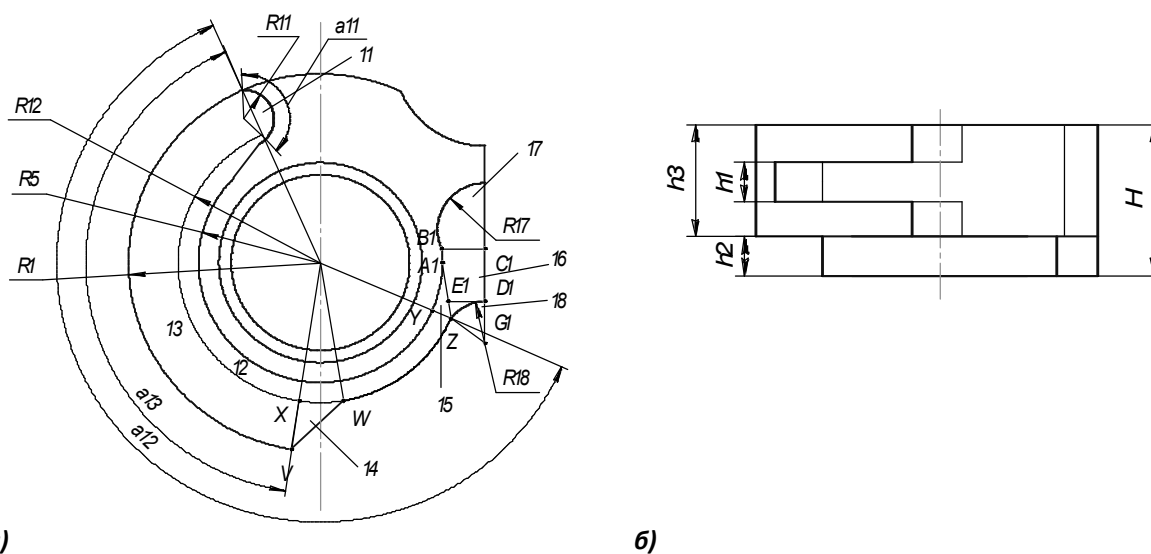
$$S_{17} = \frac{3,14 \cdot 4,38^2}{4} = 15,06 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо площу різниці трапеції та дуги круга 18:

$$S_{18} = \frac{E1Z + D1G1}{2} \cdot E1D1 - \frac{\pi R_{18}^2}{360^\circ} \cdot \alpha_{18}, \quad (10)$$

$$S_{18} = \frac{4,25 + 1,78}{2} \cdot 3,72 - \frac{3,14 \cdot 4,25^2}{360^\circ} \cdot 54^\circ 29' = 2,63 \text{ мм}^2.$$

$$S_{11-18} = 2201,608 \text{ мм}^2.$$



а)

б)

Рисунок 4 - Схема вимірювання розмірів втулки: а). вигляд Б; б) – висоти

Джерело: розроблено авторами

Об'єм частини втулки з головного вигляду, не враховуючи інших видів.

$$V_{1-9} = S_{1-9} \cdot H, \quad (11)$$

$$V_{1-9} = 758,46 \cdot 22,17 = 16799,96 \text{ мм}^3.$$

Об'єм частини втулки з вигляду А.

$$V_{10} = S_{10} \cdot h_1,$$

$$V_{10} = 66,55 \cdot 5,8 = 385,99 \text{ мм}^3.$$

Об'єм частини втулки з вигляду Б.

$$V_{11-18} = S_{11-18} \cdot h_2.$$

$$V_{11-18} = 2201,608 \cdot 1,0 = 2201,608 \text{ мм}^3$$

Загальний об'єм втулки становить:

$$V_{\text{заг}} = 2 \cdot (V_{1-9} - V_{10} - V_{11-18}), \quad (12)$$

$$V_{\text{заг}} = 16799,96 - 385,99 - 2201,61 = 14212,36 \text{ мм}^3.$$

Завдяки проведених розрахунків встановлено залежність зміни об'єму втулки від зміни її розмірів – висоти і внутрішнього радіуса. За результатами розрахунків побудована діаграма зміни об'єму втулки у залежності від значень висоти H і внутрішнього радіуса R_2 (рис. 5).

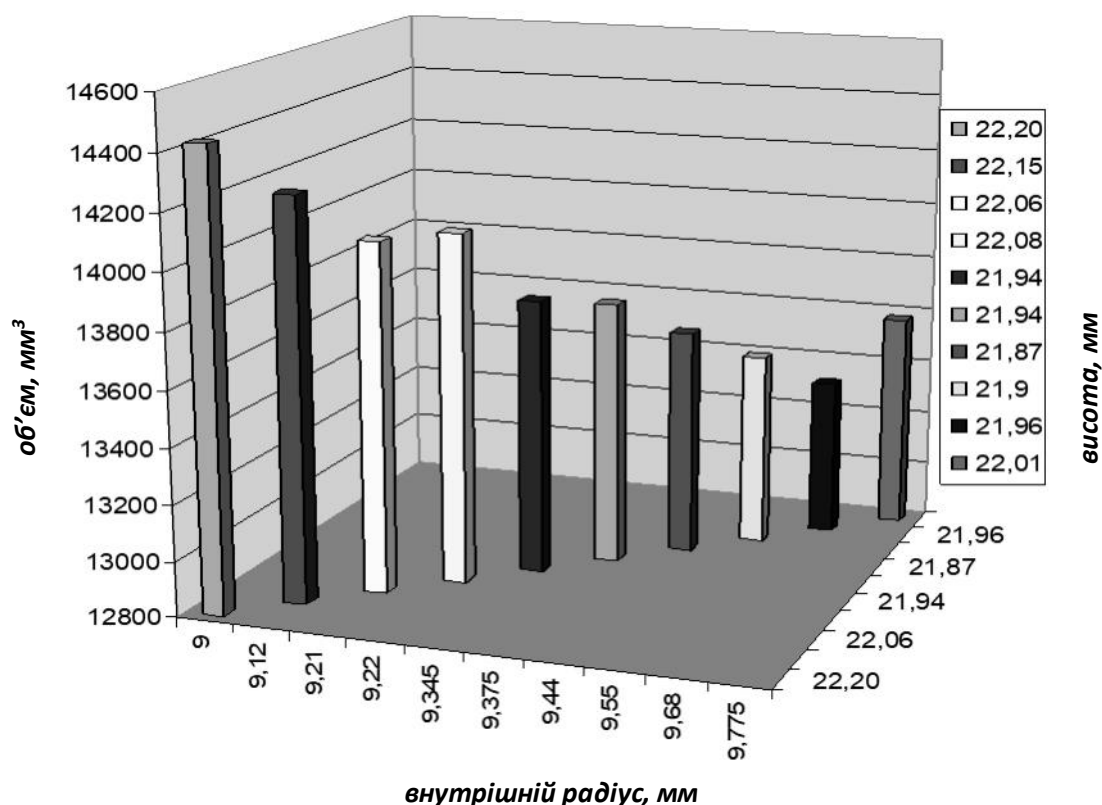


Рисунок 5 - Діаграма зміни об'єму втулок в залежності від величини внутрішнього радіусу (R2 - середній пояс) та висоти втулки Н

Джерело: розроблено авторами

З діаграми бачимо, що об'єм зменшується із збільшенням внутрішнього радіусу середнього пояса і висоти втулки, що свідчить про те, що в даному пояску знос втулки носить типовий характер для даного спряження.

Отже, чим більше знос має втулка, тим більший об'єм металу нам потрібно змістити в процесі відновлення. Залежність об'єму від геометричних параметрів дає змогу прогнозувати об'єм металу, який повинен бути зміщений при пластичній деформації.

Висновки. Дослідження по застосуванню технологій пластичного деформування у процесах ремонту зношених втулок шестеренних насосів гідросистем автотракторної техніки є актуальними.

Виконано техніко-аналітичний огляд конструкції та функціональних характеристик шестеренних насосів як елементів гідравлічних систем.

Проаналізовано закономірності зношування втулок на основі мікрометричних досліджень. Встановлені типові дефекти та критичні зони втрат металу. Зокрема, вимірюваннями зовнішньої, внутрішньої та торцевої поверхонь зношених втулок виявлено, що знос втулок по зовнішньому діаметру знаходиться в межах від 0,08 до 0,16 мм, а також, конусність по зовнішньому діаметру втулок в межах - 0,02...0,03мм. Результати свідчать, що зношені втулки можна відновлювати.

У результаті аналізу способів відновлення деталей типу втулок визначено, що одним із перспективних методів відновлення зношених втулок є пластичне деформування.

За розробленою методикою геометричного моделювання втулок здійснено розрахунок їх об'ємних параметрів на основі складових простих геометричних фігур.

Досліджено залежність об'єму втулок від величини зносів втулок по висоті та по внутрішньому діаметру. За результатами підрахунків побудована діаграма зміни об'єму

втулок в залежності від величини внутрішнього радіуса та висоти втулки. Встановлена залежність зміни об'єму втулки від зміни її розмірів. Побудована аналітична модель залежності об'єму втулки від основних геометричних параметрів (висоти та внутрішнього радіуса). Використання якої дає змогу прогнозувати об'єм металу, який повинен бути зміщений у процесі пластичної деформації при осадженні втулки.

Обґрунтована доцільність використання способу осаджування як ефективного інженерного рішення при відновленні конкретних деталей, а саме, втулок шестеренних насосів гідравлічних систем автотракторної техніки.

Список літератури

1. Шестерний насос – призначення і особливості: веб-сайт. URL <https://kammash.com/ua/shesternij-nasos-priznachennya-i-osoblivosti/> (дата звернення: 07.05. 2025).
2. Устуханов П.Д., Домуші Д. П. Діагностування гідравлічної системи тракторів. *Аграрний вісник причорномор'я*. 2016. Вип. 80. С.76-81
3. Павлюк-Мороз, В. А., Осін Р. А., Чабанний В. Я. Стенд для перевірки ресурсу шестеренних насосів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* Кіровоград: КНТУ, 2008. Вип. 38. С. 97-99.
4. Технологічні особливості ремонту гідросистем тракторів. Щомісячний журнал AGROEXPERT. URL: <https://agroexpert.ua/tehnolohichni-osoblyvosti-remontu-hidrosystem-traktoriv/> (дата звернення: 10.05.2025).
5. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення: монографія / Аулін В. В. та ін. ; за ред. проф. В. В. Ауліна. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2016. 303 с.
6. Сивак Р. І., Огородніков В. А., Архіпова Т. Ф. Немонотонна пластична деформація в процесах обробки металів тиском : монографія. Вінниця : ВНАУ, 2022. 202 с.
7. Хітров І.О., Кононогов Ю.А. Відновлення деталей пластичним деформуванням та способи для його здійснення. *Вчені записки ТНУ ім/ В.І. Вернадського. Технічні науки*. Т. 35 (74) № 1 2024. С. 191-196.
8. Афтаназів І., Шевчук Л., Строган О., Струтинська Л., Строган І. Підвищення довговічності циліндричних деталей колісних візків залізничних вагонів. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2021. Т. 5. №1. С. 136-145
9. Dudnikov A.A., Ivankova O.V., Gorbenko O.V., Kelemesh A.O. Effect of vibration treatment on increasing the durability of tillage equipment working bodies. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2021. № 2/1 (110). P. 104-108. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228606.
10. Матвійчук В. А., Михалевич В. М. Розвиток процесів локального деформування : монографія: *Теорія і практика обробки матеріалів тиском*. Запоріжжя, вид. АТ «Мотор Січ». 2016. С. 339– 363.
11. Михалевич В. М., Добранюк Ю. В. Моделювання напружено-деформованого та граничного станів поверхні циліндричних зразків при торцевому стисненні : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2013. 180 с.
12. Sivak R. Evaluation of metal plasticity and research of the mechanics of pressure treatment processes under complex loading. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. 6/7 (90). P. 34-41. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.115040
13. Матвійчук В. А., Михалевич В. М., Штуць А. А. Аналіз напружено-деформованого стану матеріалу заготовок при висаджуванні ресурсоощадним методом штампування обкочуванням. *Всеукраїнський науково-технічний журнал Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2023. № 1 (120). С. 76-85. DOI: 10.37128/2520-6168-2023-1-9
14. Вахрушева В. С., Малиш О. Д., Грузін Н. В. Визначення залишкових напружень в трубах. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2023. № 1 (100). С. 8-13. DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.280323.8.939
15. Матвійчук В. А., Михалевич В. М., Колісник М. А. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому і зворотному витискуванню методом штампування обкочуванням. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2022. №1 (104). С. 81–91.
16. Мельнікова О.Г. Підсумовуюча формула Ейлера та її застосування. *Фізико-математична освіта: Науковий журнал*. 2017. Вип. 4 (14). С.225-228.

References

1. Gear pump – purpose and features. <https://kammash.com/ua/shesternij-nasos-priznachennya-i-osoblivosti> [in Ukrainian].
2. Ustuyarov P.D., & Domuschi D. P. (2016). Diagnostics of the hydraulic system of tractors. *Agrarian Bulletin of the Black Sea Region*, 80,76-81 [in Ukrainian].
3. Pavlyuk-Moroz, V. A., Osin R. A., & Chabanniy V. Ya. (2008) Stand for checking the resource of gear pumps. *Design, production and operation of agricultural machines: all-state interdepartmental scientific and technical collection*, 38, 97-99 [in Ukrainian].
4. Technological features of tractor hydraulic system repair. Monthly magazine AGROEXPERT. <https://agroexpert.ua/tehnolohichni-osoblyvosti-remontu-hidrosystem-traktoriv/>. [in Ukrainian].

5. Aulin V. V. (2016). *Tribophysical foundations of increasing the reliability of mobile agricultural and motor vehicle equipment using tribotechnical restoration technologies*: monograph / edited by Prof. Aulin V. V. Kropyvnytskyi: Lysenko V. F. [in Ukrainian].
6. Sivak R. I., Ogorodnikov V. A., & Arkhipova T. F. (2022). *Nonmonotonic plastic deformation in metal pressure processing processes*. Vinnytsia: VNAU [in Ukrainian].
7. Khitrov I.O., & Kononogov Y.A. (2024). Restoration of parts by plastic deformation and methods for its implementation. *Scientific notes of the V.I. Vernadsky*, 35 (74), 191-196 [in Ukrainian].
8. Aftanaziv I., Shevchuk L., Strohan O., Strutynska L., & Strohan I. (2021) Increasing the durability of cylindrical parts of wheel bogies of railway cars. *Mechanics and Advanced Technologies*. 5, 136-145 [in Ukrainian].
9. Dudnikov A.A., Ivankova O.V., Gorbenko O.V., & Kelemesh A.O. (2021) Effect of vibration treatment on increasing the durability of tillage equipment working bodies. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 2/1, 104-108. [in English]. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228606.
10. Matviychuk V. A., & Mikhalevych V. M. (2016). *Development of local deformation processes: monograph: Theory and practice of pressure processing of materials*. Zaporizhzhia, "Motor Sich", [in Ukrainian].
11. Mykhalevych V. M., & Dobranyuk Y. V. (2013) *Modeling of stress-strain and limit states of the surface of cylindrical specimens under end compression: monograph*. Vinnytsia: VNTU, [in Ukrainian].
12. Sivak R. (2017). Evaluation of metal plasticity and research of the mechanics of pressure treatment processes under complex loading. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/7 (2013), 34-41 [in English]. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.115040.
13. Matviychuk V. A., Mykhalevych V. M., & Shtuts A. A. (2023). Analysis of the stress-strain state of the material of the blanks during planting by the resource-saving method of stamping by rolling. *All-Ukrainian scientific and technical journal Technology, Energy, Transport of the Agricultural Complex*, 1 (120), 76-85 [in Ukrainian]. DOI: 10.37128/2520-6168-2023-1-9.
14. Vakhrusheva V. S., Malysh O. D., & Gruzin N. V. (2023). Determination of residual stresses in pipes. *Metallurgy and Heat Treatment of Metals*, 1 (100), 8-13 [in Ukrainian]. DOI: 10.30838/J.PMHTM.2413.280323.8.939.
15. Matviychuk V. A., Mykhalevych V. M., & Kolisnyk M. A. (2022). Assessment of the deformability of the material of the blanks during direct and reverse extrusion by the rolling stamping method. *Vibrations in Engineering and Technologies*, 1 (104), 81-91. [in Ukrainian].
16. Melnikova O. G. (2017). Summary of Eylers Formula end Its Application // *Physics and Mathematics Education: Scientific Journal*, 4 (14), 225-228 [in Ukrainian].

Olena Ivankova, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vitaly Fedin**

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

Research on the Restoration of Gear Pump Parts by Plastic Deformation

Restoration of worn parts of agricultural machinery allows to significantly reduce the downtime of machines, as well as to improve the quality of repairs and positively affect the durability of machines. Currently, there is a need for research into the use of technologies based on plastic deformation in the repair of specific parts. Gear pumps are an important component of hydraulic systems of machines. Not only the efficiency of the unit, but also the quality of control and adjustments depends on the operation of the pumps. Currently, the analysis of the possibility of using plastic deformation in the restoration of worn bushings of gear pumps of hydraulic systems of autotractor equipment is relevant. To this end, the dependence of the change in the volume of the bushing on the change in its geometric parameters during restoration by plastic deformation (deposition) was investigated. Currently, the analysis of the possibility of using plastic deformation in the restoration of worn bushings of gear pumps of hydraulic systems of autotractor equipment is relevant. To this end, the dependence of the change in the volume of the bushing on the change in its geometric parameters during restoration by plastic deformation (deposition) was investigated.

The results of a technical and analytical review of the design and functional characteristics of gear pumps as elements of hydraulic systems are presented. The patterns of bushing wear are analyzed based on micrometric studies. A method of geometric modeling of bushings has been developed and their volumetric parameters have been calculated. The dependence of the bushing volume on the amount of bushing wear in height and in the inner diameter has been investigated. The dependence of the change in the bushing volume on the change in its dimensions has been established. An analytical model of the dependence of the bushing volume on the main geometric parameters has been constructed. The feasibility of using the deposition method as an effective engineering solution for the restoration of specific parts, namely, bushings of gear pumps of hydraulic systems of auto-tractor equipment, has been substantiated.

pump, restoration, durability, wear, volume, plastic deformation, deposition

Одержано (Received) 20.08.2025

Прорецензовано (Reviewed) 29.08.2025

Прийнято до друку (Approved) 19.09.2025