

С.В. Ковалевський<sup>1</sup>, С.А. Матвієнко<sup>1</sup>, О.В. Лукічов<sup>2</sup>, О.П. Сакно<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ;

<sup>2</sup> Донецька академія автомобільного транспорту, м. Донецьк

## **ЗМІНА ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЗВУКОВІЙ ВІБРАЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ В ПРУЖНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

© *Сергій Ковалевський, Сергій Матвієнко, Олександр Лукічов, Ольга Сакно, 2014*

**In the article the considered change of basic tribological descriptions of superficial layer of workings surfaces of pair of friction is at their voice oscillation treatment in a resilient environment. The technological parameters of process of treatment and of principle chart of setting are analysed. The results of conducted experimental treatment of details are rotined.**

**Keywords - oscillation treatment, resonance, roughness, tribology, work-hardening, structure of surface**

**В статті розглянута зміна основних трибологічних характеристик поверхневого шару робочих поверхонь пар тертя при їх звуковій вібраційній обробці в пружному середовищі. Проаналізовані технологічні параметри процесу обробки та принципова схема установки. Показані результати проведеної експериментальної обробки деталей.**

**Ключові слова - вібраційна обробка, резонанс, шорсткість, трибологія, зміцнення, структура поверхні**

### **Постановка проблеми**

В даний час постійно зростають вимоги до надійності і довговічності деталей пар тертя. Аналіз останніх робіт пов'язаних з новими технологічними процесами, що вирішують проблему підвищення експлуатаційних властивостей вузлів тертя, їх трибологічних характеристик залишається актуальною. Найбільш перспективний напрям для поліпшення характеристик поверхні – використання фінішних комбінованих технологій, що використовують концентровані потоки енергії, та від якості яких залежать найважливіші показники механізмів – працездатність, надійність, металоємність, собівартість та інші [1 - 5]. У сучасних технологіях для підвищення зносостійкості одне з перших місць займають різні види вібраційних процесів. При цьому одне з головних завдань для технологів - розробка нових енергозберігаючих і ефективних способів підвищення зносостійкості деталей. Досить часто при рішенні цієї задачі використовують технології ультразвукової вібраційної обробки робочих поверхонь деталей.

### **Аналіз останніх досліджень**

Термін служби транспортних машин до капітального ремонту багато в чому залежить від зносостійкості їх деталей і вузлів, 80-85 % яких виходить з ладу унаслідок їх інтенсивного зношування. На експлуатаційні показники деталей машин чинять несприятливий вплив: мікрогеометрія поверхні - шорсткість та субшорсткість; твердість поверхневого шару; залишкова напруга, що розтягує - технологічні наслідки операцій механічної обробки на фінішних етапах виготовлення і реновації виробів; структура поверхневого шару, прироблюємість поверхонь тертя та ін. На сьогоднішній момент для поліпшення трибологічних характеристик застосовуються термообробка, різні доводочні операції, також все більше вживання знаходять методи зміцнення і вібростабілізації засновані на механізмі ультразвукового зміцнення. Саме технології ультразвукової дії на сплави є найбільш перспективними, як і використання вібраційної обробки. Процеси, що протікають в металах в твердій фазі при акустичному вантаженні вивчені недостатньо, особливо фізика дислокаційного зміцнення. Таким чином технологічних методів зміцнення та відновлення деталей машин достатньо багато [1, 4, 5, 6], але жоден з них не вирішує завдання комплексно,

поєднуючи якість обробки й ресурсозбереження. Найбільш перспективний напрям для поліпшення характеристик поверхні – використання фінішних комбінованих технологій, що використовують концентровані потоки енергії, та від якості яких залежать найважливіші показники механізмів – працездатність, надійність, металоемність, собівартість та інші.

### **Формулювання мети**

Дослідити характеристики поверхневого шару пар тертя після здійснення звукової вібраційної обробки в пружному середовищі (ЗВОПС). Виявити вплив на них характеристик технологічного процесу та інших параметрів.

### **Виклад основного матеріалу**

В результаті проведених досліджень з'явився метод підвищення довговічності деталей, яка включає зміцнення і релаксацію залишкової напруги під дією звукових коливань, що впливають на деталь механічним способом. Метод полягає в дії контактним способом механічних коливань звукового діапазону частот на деталь занурену в пружно-в'язке середовище. Дана обробка дозволяє досягти рівномірного розподілу дислокацій і внутрішньої напруги поверхневого шару. Обробка в пружному середовищі дозволяє одночасно обробляти всі поверхні деталей. При використанні запропонованого методу на розробленій установці можна обробляти деталі складної геометричної форми. Технологію відрізняє мінімальне енергоспоживання, висока продуктивність, екологічність.

Запропонований авторами спосіб обробки ЗВОПС [7, 8] оснований на використанні декількох фізичних явищ одночасно, а саме: виникнення резонансних коливань деталі при наданні їй вимушених коливань, що співпадають з власною частотою коливань в діапазоні звукових частот (друга чи третя гармоніки); квантування енергії обробки в енергію короткочасного імпульсу (потужність 30-40 кВт) при загальному низькому енерговикористанні (150-200 Вт); взаємодії поверхневих шарів деталі з пружним середовищем, що викликає ефект подібний до поверхнево-пластичної обробки; фізико-хімічних змін в поверхневому шарі, що зводяться до переорієнтації кристалів, руху дислокації до границь зерен. Головні відмінності запропонованого способу: передача вимушених коливань самій деталі, а не середовищу, що дозволяє зменшити витрати енергії; відсутність в середовищі твердих робочих частинок, які впливають на поверхню деталі; використання явища резонансу протягом всього процесу обробки при регулюванні частоти коливань, що збуджують.

Теоретична модель процесу визначається опором пружного рідкого середовища коливанням деталі за рахунок відбору імпульсу у рухомого тіла елементами пружного середовища. Обробка на вищих гармоніках ефективніша, оскільки коефіцієнт поглинання збільшується із зростанням гармоніки власної частоти, з якою резонує навантаження, що збуджує. В процесі ЗВОПС в граничному шарі деталей протікають мікропластичні деформації і інші процеси, що призводять до зниження залишкової напруги і до дислокацій в поверхневому шарі. В результаті отримується зміна шорсткості поверхні до оптимальної та підвищення поверхневої міцності [8]

Робота вібраційної установки (рис. 1) здійснюється таким чином. До концентратора п'єзоперетворювача втулкою з двостороннім різьбленням кріпиться деталь. Безперервні коливання із звуковою частотою в заготівці збуджуються п'єзоперетворювачем живленим від генератора коливань. Ультразвуковий генератор виробляє електричну енергію звукової частоти, яка поступає на пластини п'єзоперетворювача і перетворюється в механічні коливання концентратора. Обробка ведеться на другій власній частоті коливань деталі в резонансному режимі. У момент виникнення резонансу в системі генератор - деталь відбувається різке і максимальне відхилення стрілки мікроамперметра, що фіксується системою управління на базі ПК, зі здійсненням АПЧ і утриманням резонансного режиму, після чого генератор працює із заданою частотою вимушених коливань. Повне використання вимушеного імпульсного сигналу дозволяє жорстке з'єднання деталі з концентратором п'єзоперетворювача. На заготівлю накладають безперервні коливання, частота яких плавно міняється в діапазоні 727-5500 кГц.

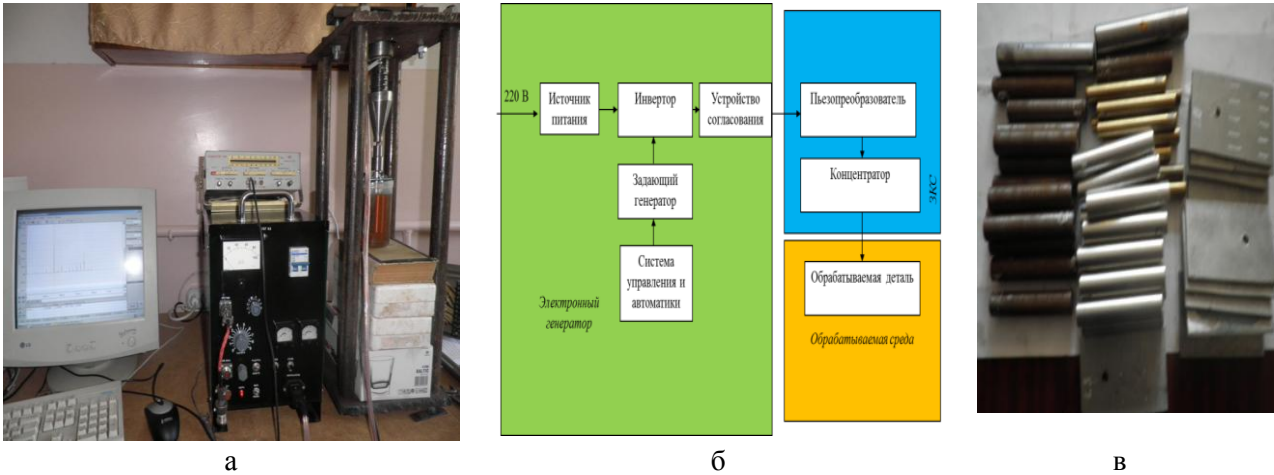


Рис.1. Експериментальна установка: а – загальний вид, б – принципова схема, в – експериментальні зразки (сталь, бронза, алюміній)

Власна частота коливань деталі визначається вимірюванням при її положенні в свobodному стані (пружний підвіс). Фіксується кілька гармонік у вказаному діапазоні (рис. 2а) й вибирається одна з них, що забезпечує максимальну амплітуду. Після цього вимушені коливання з заданою частотою дозволяють отримати збільшення амплітуди коливань в 10-30 раз (рис. 2б). Саме збільшення амплітуди дозволяє отримати ефект при обробці, що впливатиме на експлуатаційні характеристики робочої поверхні. Вимірювання амплітуди здійснювалось за акустичним сигналом від деталі, що приймається вібраційним датчиком ДН-3, який перетворює механічні коливання в змінну напругу тієї ж частоти. Для експериментальної вібраційної обробки використовувалися деталі циліндричної форми діаметром 20 - 26 мм, довжиною 90 - 110 мм, пластини 100x100 мм товщиною 8 мм.

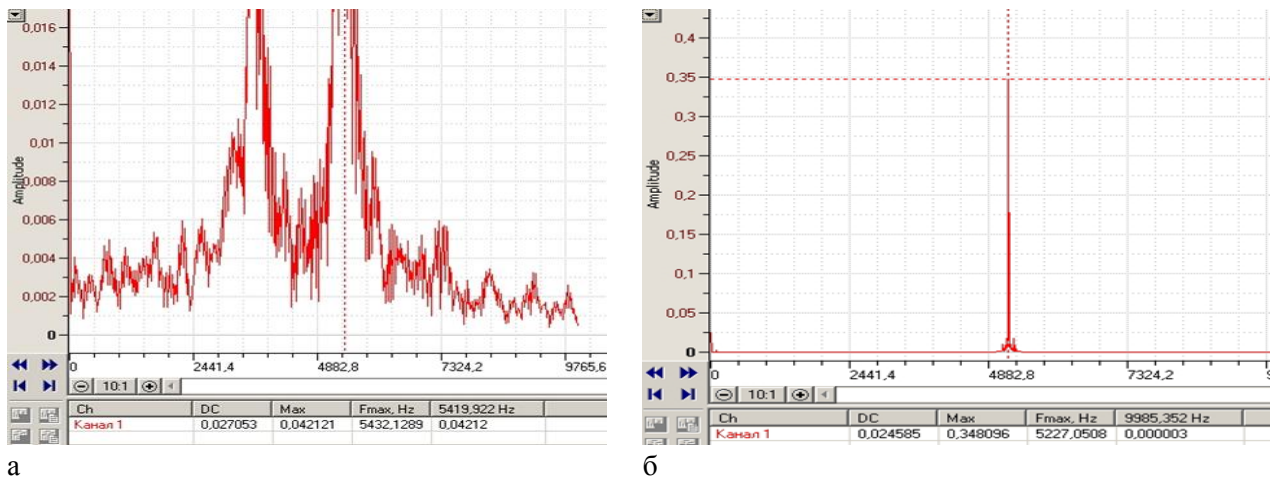
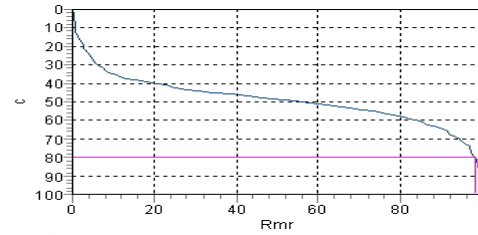
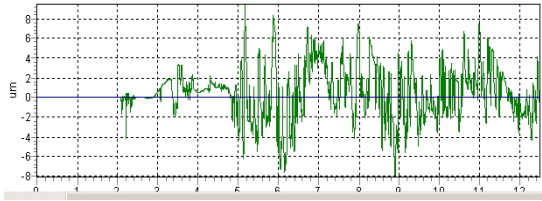


Рис.2. Амплітудно частотна характеристика: а – власні коливання деталі, б – обробка в резонансі

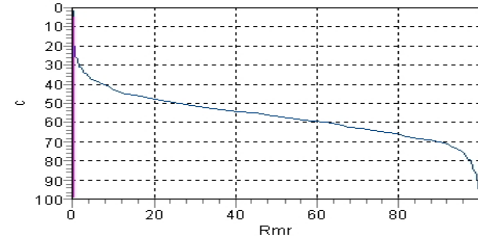
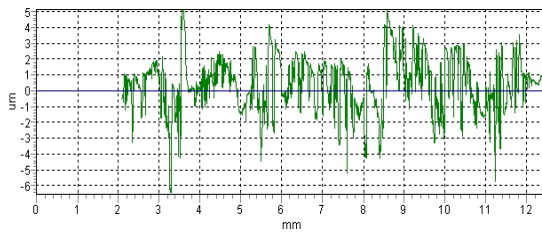
Контроль стану робочої поверхні проводився через кожні 5 хвилин обробки, що дозволило встановити динаміку процесу зміни основних характеристик поверхні, а саме шорсткості, структури поверхні, твердості. Формування нових характеристик поверхневого шару після звукової обробки в пружному середовищі викликає зміну механічних властивостей, яка у свою чергу підвищує довговічність деталей.

Найбільш важливою характеристикою є шорсткість, зміна якої протягом експерименту показана на рис. 3 та в табл. 1. Особлива увага приділялась не тільки загальному показнику Ra, але й інших. Зміна параметру опорної поверхні  $t_p$  показана на кривих Аббота.

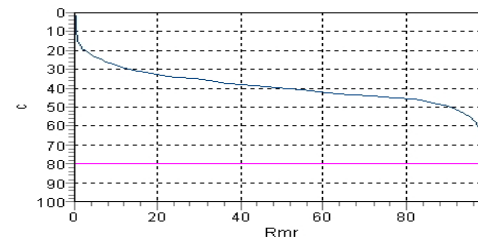
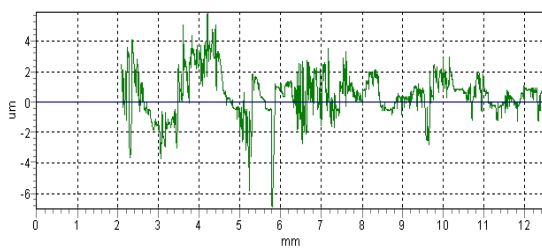
Початкова



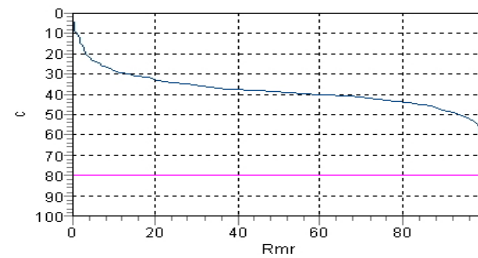
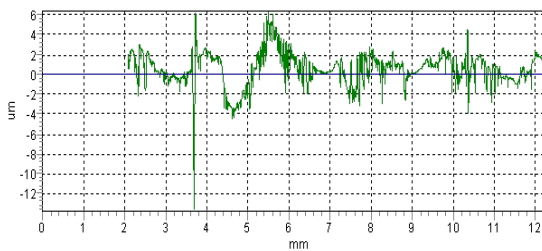
Обробка протягом 5 хвилин



Обробка протягом 10 хвилин



Обробка протягом 15 хвилин



Профілограф шорсткості

Крива Аббота

Рис. 3. Зміна шорсткості в залежності від часу здійснення ЗВОПС

Здійснювався контроль тих показників шорсткості, які мають найбільший вплив на трибологічні характеристики поверхні, а саме:  $R_a$  – середнє арифметичне відхилення, загальна характеристика поверхні (зменшується на 30% в середньому перерізі);  $R_p$  - висота виступу, що визначає швидкість зношування в перший період часу (зменшується на 25-35%);  $R_v$  – глибина западини, що визначає змащуючу здатність поверхні (зменшується на 15-25%);  $R_{max}$  - найбільша висота нерівностей;  $t_m$  - відносна опорна площа на рівні середньої лінії профілю (формується на 20% вище середньої лінії профілю, в 2-2,5 рази зменшується кут нахилу основної лінії);  $S_m$  – крок нерівностей по середній лінії (залишився без змін);  $S$  – середній шаг місцевих виступів профілю (зменшився на 30-90%).

Таким чином всі основні показники шорсткості, що впливають на зносостійкість, поліпшилися. Для заданих умов обробки та потужності експериментальної установки оптимальний час обробки 10-12 хвилин. При цьому наявний різний характер зміни параметрів шорсткості по довжині деталі, в різних перерізах (серединному та крайньому). Це потребує подальшого дослідження з урахуванням довжини хвилі розповсюдження звукових коливань в деталі, що залежить від матеріалу та її форми. Проведені дослідження для бронзових та сталевих зразків показали аналогічну зміну параметрів шорсткості, хоча і в меншому ступеню. Очевидно, що для таких зразків необхідно збільшення потужності імпульсу та амплітуди вимушених коливань, що буде збільшуватися при резонансі (амплітудою переміщень можна керувати за допомогою геометрії концентратора, що входить до складу п'єзоперетворювача).

Таблиця 1

**Результати вимірів параметрів шорсткості поверхні при обробці**

Параметр	Переріз	Вихідний	5 хвилин	10 хвилин	15 хвилин
Ra	Середина	1,633	1,241	1,277	1,183
	Край	1,595	1,574	1,928	1,607
Rp	Середина	5,871	4,027	3,852	4,16
	Край	6,361	6,133	5,891	5,8
Rv	Середина	5,995	5,659	4,935	5,291
	Край	6,68	6,799	6,436	5,522
S	Середина	0,174	0,156	0,114	0,118
	Край	0,426	0,307	0,202	0,156
Sm	Середина	0,239	0,249	0,186	0,230
	Край	0,850	0,600	0,376	0,379

Також досліджувалась зміна поверхневої твердості в залежності від часу обробки та пружного середовища (табл. 2). Встановлено, що поверхнева твердість збільшується на 8-20%, при цьому найбільший ефект досягається при використанні індустріального мастила, найбільш пружного середовища. Оптимальний час обробку теж сягає 10-12 хвилин, після чого збільшення твердості майже не відбувається [9].

Таблиця 2

**Результати вимірів поверхневої твердості для алюмінію після обробки, НВ**

Середовище	Номер зразку	Час впливу резонансної частоти, хвилин			
		0	5	10	15
Масло індустріальне I-40	1	74,3	79	82	82
	2	75,6	80	84	83
	3	73,6	77	83	83
	4	72,9	76	82	84
Вода	5	75,8	78	81	83
	6	74,6	76	79	81
	7	74,5	77	80	82
	8	72,5	76	78	81
Вода з ПАР (поверхнево активними речовинами)	9	72,8	77	81	81
	10	73,6	78	82	80
	11	74,2	79	82	81
	12	75,6	79	83	82

Аналіз зміни структури поверхневого шару показав, що при застосуванні ЗВОПС змінюється мікроструктура. Фото зроблені за допомогою мікроскопу показують (рис. 4), що зникає частина поверхневих дефектів, зменшується та орієнтується зерно на поверхні, проходить «очищення» поверхні від наслідків фінішних технологічних операцій.

**Висновки**

Проведені дослідження служать основою для створення конструкції вібраційної установки для обробки деталей в пружному середовищі та технологічних параметрів здійснення обробки. Експеримент підтвердив можливість підвищення якості поверхні деталей машин при використанні ЗВОПС. Запропонована технологія, забезпечуючи використання ефекту резонансу, є достатньо універсальною з точки зору технологічних можливостей і якості обробленої робочої поверхні тертя. ЗВОПС дозволяє використовувати менш громіздке устаткування, не використовувати абразивні матеріали, досягати суттєвих результатів при мінімальних витратах енергії. При цьому підвищується зносостійкість поверхневих шарів деталей за рахунок зміни шорсткості, мікротвердості, фізико-механічних властивостей поверхневого шару, а власна частота коливань визначається

моделюванням, або експериментальним шляхом. Для розвитку запропонованої технології необхідне дослідження всіх змінних технологічних режимів.

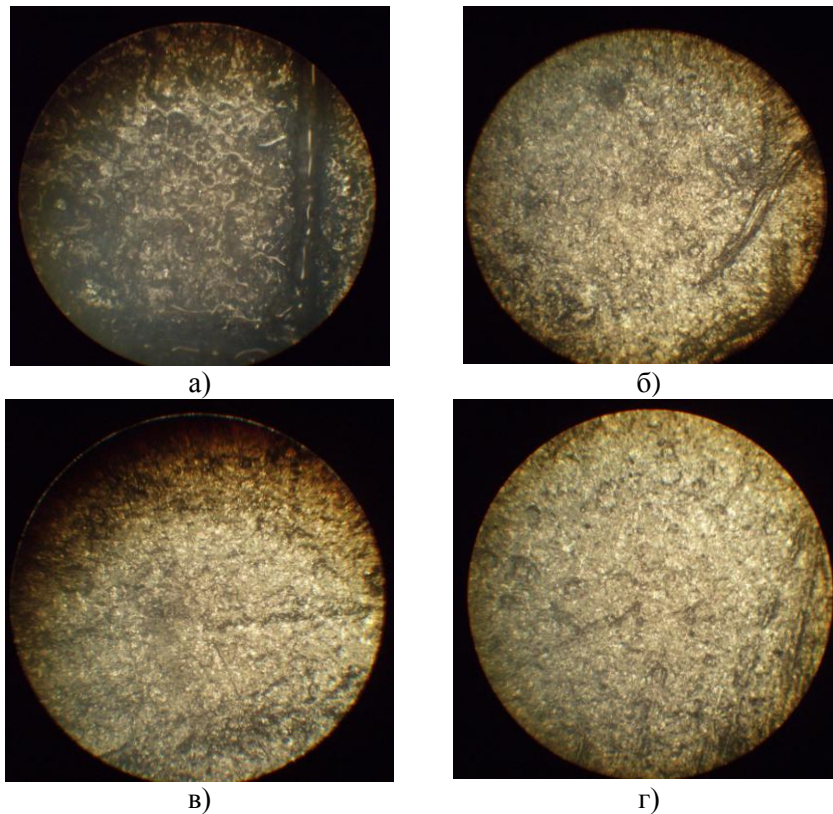


Рис. 4. Зміна структури поверхневого шару деталі з алюмінію при ЗВОПС (збільшення 1:400)  
(а – до обробки; б, в, г – після 5, 10, 15 хвилин обробки відповідно)

1. Кулинский А.Д., Бутенко В.И. Комбинированные методы обработки поверхностей деталей трибосистем. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013. – 220 с. 2. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / Смелянский В. М. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с. 3. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Суслов // М.: Машиностроение, 2000. – 320с. 4. Суслов А.Г., Фёдоров В.П., Горленко О.А. и др. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / под общ. Ред. А.Г. Суслова. М.: Машиностроение, 2006. 448 с. 5. Маслов А.Р. Перспективные высокие технологии: справочник / А.Р. Маслов // Инженерный журнал. –2008. – № 1. – С. 10 - 24.
6. Палаев А.Г. Технология, оборудование ультразвуковой упрочняюще-финишной обработки металлов и контроль качества / А.Г. Палаев, А.И. Потапов, В.В. Максаров // Металлообработка № 6(66) , 2011, С. 38-41.
7. Ковалевський С.В. Технологічне забезпечення зносостійкості поверхневого шару деталей автомобілів при фінішній зміцнювальній віброобробці в пружному середовищі / С.В. Ковалевський, С.А. Матвієнко, О.В. Лукічов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка / Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. Випуск 122. – Харків: ХНТУСГ, 2012. – С. 122 - 127.
8. Ковалевський С.В. Аналіз стану проблеми реновації деталей автомобілів технологічними методами / С.В. Ковалевський, О.В. Лукічов, С.А. Матвієнко // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. - 2012. - №3(62). - С. 74 - 79.
9. Ковалевський С.В. Метод звукової вібраційної обробки та його експериментальні дослідження/ С.А. Матвієнко, О.П. Сакно, О.В. Лукічов// Міжсвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2013. Випуск №41 Частина 1. - С. 129-134.