

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Волошина Людмила Володимирівна

УДК [62-728+621.794.6]:621.43

ДИСЕРТАЦІЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МАСЛЯНИХ ШЕСТЕРЕННИХ
НАСОСІВ ТРАКТОРНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Спеціальність 05.02.01 – «Матеріалознавство»

(13 – Механічна інженерія)

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



_____/Л.В.Волошина/

Науковий керівник Тимофєєва Ларіса Андріївна, доктор технічних наук,
професор, Лауреат державної премії України

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Волошина Л.В. Підвищення зносостійкості масляних шестеренних насосів тракторних дизельних двигунів – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 «Матеріалознавство» (132 Матеріалознавство) – Український державний університет залізничного транспорту, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2021.

У дисертації вирішено наукове завдання щодо підвищення зносостійкості та працездатності деталей масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання за рахунок розроблення інноваційної технології формування багат шарового покриття в одному технологічному циклі.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення експлуатаційних властивостей деталей масляних шестеренних насосів за рахунок розробки способу нанесення покриття з заданими властивостями.

Завдання дослідження: на основі літературних джерел інформації, огляду патентів і авторських свідоцтв провести аналіз ефективних методів нанесення покриттів, які використовують для покращення триботехнічних властивостей виробів; провести аналіз механізму зносу, пошкодження матеріалу деталей масляних шестеренних насосів при їх експлуатації; розробити спосіб нанесення покриттів на деталі масляного шестеренного насосу, що забезпечить задану працездатність і зносостійкість; визначити особливості формування окислених покриттів і оцінити їх вплив на структуру і зносостійкість; визначити раціональні параметри технологічного процесу окислення, а саме час витримки, концентрацію насичуючого середовища і температуру, які забезпечать підвищення зносостійкості деталей масляного шестеренного насосу; визначити вплив технологічних параметрів окислення на експлуатаційні властивості, а саме

зносостійкість та працездатність; провести експлуатаційні випробування технологічного процесу окислення і оцінити його економічну ефективність.

Об'єкт дослідження - процес формування покриттів з заданими експлуатаційними властивостями.

Предмет дослідження - підвищення зносостійкості деталей масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання дослідження, визначені об'єкт та предмет дослідження, відображено наукову новизну та практичну цінність, надано загальну характеристику роботи.

Перший розділ присвячено аналізу умов роботи масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання, виконаний аналітичний огляд стану питання і обґрунтовано вибір напрямку досліджень.

Розглянуто основні недоліки та переваги пропонованих технічних рішень і вибрано найбільш раціональний та науково обґрунтований метод нанесення покриттів, який дозволить підвищити триботехнічні характеристики пар тертя та збільшити ресурс масляного шестеренного насоса. Обґрунтовано, що найбільш відповідає поставленим завданням метод нанесення зносостійкого шару з водних розчинів солей, який дозволяє підвищити зносостійкість, припрацьовуваність деталей, зменшити коефіцієнт тертя, покращити адгезію покриття.

У другому розділі виконаний аналіз властивостей матеріалів, які використовуються для виготовлення деталей масляних шестеренних насосів. Розроблена програма експериментальних досліджень та системний підхід до вибору технології нанесення покриттів на деталі масляних шестеренних насосів. Виконана розробка способу нанесення покриття. Описано обладнання, яке застосовувалося для експериментів, та оптимальні методики досліджень.

У третьому розділі представлені результати розробки теоретичних основ удосконалення методу нанесення покриття. На основі аналізу літературних джерел обрано хімічні елементи, які найбільш позитивно впливають на підвищення експлуатаційних властивостей пар тертя, обґрунтовано утворення покриття з заданими властивостями.

Встановлено, що основними параметрами технологічного процесу нанесення покриттів із водного розчину солей є температура обробки деталей, концентрація солі у водному розчині та час витримки в насичуючому середовищі. Від цих параметрів залежить формування поверхневого шару, а також його триботехнічні властивості.

Представлені результати оптимізації параметрів технологічного процесу, що дозволило визначити діапазон значень параметрів технологічного процесу, за рахунок зміни яких можливо досягти найкращих експлуатаційних та триботехнічних властивостей, а саме утворення оптимальної товщини покриття, мінімальних значень зносу, оптимального часу приробітки, витримки максимального навантаження до утворення задирів. Представлені результати металографічних досліджень утворених покриттів.

У четвертому розділі представлено результати досліджень властивостей покриття, утвореного за новою технологією, в лабораторних умовах. Проведений аналіз впливу одержаних в результаті обробки покриттів на знос, задиростійкість, час приробітки, коефіцієнт тертя. За результатами лабораторних досліджень вибрані оптимальні параметри технологічного процесу формування покриттів за впливом на триботехнічні властивості пар тертя.

П'ятий розділ присвячено висвітленню результатів експлуатаційних іспитів масляних шестеренних насосів після нанесення покриття. Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованого технологічного процесу формування покриттів з заданими властивостями на деталях масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання.

Вперше: розроблено інноваційний технологічний процес формування покриттів з використанням водного розчину алюмохромфосфатного зв'язуючого, що дозволить підвищити зносостійкість пар тертя; визначено залежність між величиною зносу і технологічними параметрами нанесення покриттів на чавунних та сталевих деталях: температурою, часом витримки і концентрацією розчину; визначено залежність впливу технологічних параметрів на товщину покриття; розроблено комплексну технологію одночасного формування багат шарового покриття, що базується на послідовному формуванні перехідного шару покриття з різним ступенем легованості на сталевих та чавунних деталях масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання.

Удосконалено: технологічний процес виготовлення деталей масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання за рахунок розробленої інноваційної технології, що забезпечить підвищення зносостійкості пар тертя масляних шестеренних насосів та їх працездатності.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблена технологія нанесення покриттів, яка складається з окислення у водному розчині алюмохромфосфатного зв'язуючого деталей масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання, що забезпечує підвищення зносостійкості та працездатності:

- визначені раціональні параметри розробленої технології, зокрема температуру нагріву деталей, концентрацію насичуючого середовища та часу витримки у цьому середовищі;

- проведено експлуатаційні випробування, які довели, що використання нової технології нанесення покриттів на деталі масляних шестеренних насосів забезпечує їх працездатність протягом усього міжремонтного періоду двигуна;

- результати експлуатаційних випробувань довели, що зносостійкість деталей з покриттям перевищує майже в 2,5 - 3 рази зносостійкість деталей за старою технологією.

За темою дисертації опубліковано 22 наукових праці, в тому числі: 6 статей у фахових наукових виданнях України; 1 стаття що включена до міжнародних наукометричних баз, а саме SCOPUS, 11 праць апробаційного характеру; 3 додаткових; розробка захищена 1 патентом України на винахід.

Результати теоретичних і практичних досліджень впроваджені у навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту при вивченні таких дисциплін, як «Матеріалознавство», «Технологія конструкційних матеріалів», «Матеріалознавство та технологія матеріалів», «Ресурсозберігаючі технології», «Інноваційні ресурсозберігаючі технології», «Організація технологічних процесів».

Ключові слова: масляний шестеренний насос, знос, зносостійкість, мікроструктура, триботехнічні властивості, зміцнення, окислення, покриття з заданими експлуатаційними властивостями, параметри технологічного процесу, насичуюче середовище.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Тимофеева Л.А., Проскурина Л.В., Тимофеев С.С. Повышение эксплуатационных характеристик деталей масляного насоса двигателя СМД 60. *Збірник наукових праць НТУ «ХП»*. Високі технології в машинобудуванні. Харків: НТУ «ХП». 2001. №1(4). С. 263 – 265.

2. Патент України на винахід №45841А: МПК В22F3/24. Спосіб хіміко-термічної обробки деталей із металів та сплавів / Тимофеева Л.А., Проскурина Л.В., Тимофеев С.С., Федченко І.І.. Заявник та патентовласник УкрДАЗТ. №2001075170; заявл.19.07.2001; опубл. 15.04.2002, Бюл.№4.

3. Волошина Л.В. Удосконалення технологічного процесу нанесення зносостійких шарів на поверхні пар тертя. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ: Довговічність, надійність, працездатність деталей рухомого*

складу залізниць та спеціальної залізничної техніки. Харків : УкрДАЗТ. 2004. Випуск 61. С.100 – 105.

4. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В. Підвищення зносостійкості пар тертя нанесенням покриттів із водних розчинів солей. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*, Харків : УкрДАЗТ. 2011. Випуск 127. С.131 – 136.

5. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В. Визначення технологічних параметрів процесу обробки в залежності від експлуатаційних властивостей покриття. *Вісник НТУ «ХП»*. Серія нові рішення в сучасних технологіях. Харків : НТУ «ХП». 2012. №66. С. 20 – 23.

6. Волошина Л.В. Визначення та оптимізація параметрів нової технології залежно від заданих властивостей покриття. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*, Харків : УкрДАЗТ. 2012. Випуск 134. С. 224 – 229.

7. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В., Гордієнко П.М. Аналіз технологічних параметрів процесу нанесення зносостійкого покриття. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*, Харків : УкрДУЗТ. 2017. Випуск 170. С.13 – 19. (НБД Index Copernicus).

Публікації у виданнях інших держав:

8. Тимофеева Л.А., Проскурина Л.В., Остапчук В.Н., Тимофеев С.С. Управление условиями антифрикционности узлов трения. *Журнал: Тяжелое машиностроение*, 2002. №3. С.27 – 28. (індексується в базі Scopus)

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. Проскурина Л.В., Тимофеева Л.А. Повышение надежности работы масляных шестеренных насосов. *Инженерия поверхности и ренновация изделий. Материалы 3-й Международной научно-технической конференции*. Киев. 2003. С.201 – 202.

10. Проскурина Л.В. Влияние технологических параметров химико-термической обработки на износостойкость пары трения шестерня - корпус масляного насоса. *Современные проблемы подготовки производства, обработки и сборки в машиностроении и приборостроении. Материалы 3-го Международного научно-технического семинара*. Киев. 2003. С.126 – 128.

11. Тимофеєва Л.А., Волошина Л.В. Підвищення якості пар тертя нанесенням зносостійких покриттів. *Качество, стандартизация, контроль: теория и практика. Материалы 11-й Международной научно-практической конференции*. Киев. 2011. С.151 – 153.

12. Тимофеєва Л.А., Федченко І.І., Волошина Л.В. Дослідження впливу поверхневого шару на триботехнічні властивості залізобуглецевих сплавів. *Матеріали 12-ї міжнародної науково-технічної конференції "Інженерія поверхні і реновація виробів" 04-08 червня 2012р.*, м. Ялта, Крим. Київ : АТМ України, 2012. С. 294 – 297.

13. Волошина Л. В. Ресурсозберігаюча технологія нанесення покриттів. *«Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. Тези доповідей 75-ї міжнародної науково-технічної конференції. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. Харків : УкрДАЗТ, 2013, Вип. 136, С. 349.

14. Волошина Л. В. Результати металографічного дослідження покриття із водного розчину алюмохромфосфатної солі. *Тези доп. 79-та міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. Харків, 25-27 квіт. 2017р. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. Харків : УкрДУЗТ, 2017, Вип. 169 (додаток), С. 138 – 140.

15. Волошина Л. В. До питання дослідження впливу складу покриття на триботехнічні властивості залізобуглецевих сплавів. *Тези доповідей 80-ї міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. Харків : УкрДУЗТ, 2018, Вип. 177, С. 93.

16. Тимофеєва Л.А., Волошина Л.В. Підвищення якості, працездатності масляних шестеренних насосів ДВС. *Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: Материалы 18-й Международной научно-практической конференции, 03–07 сентября 2018 г., г. Одесса*. Киев : АТМ Украины, 2018. С.108 – 110.

17. Волошина Л.В. Ресурсозберігаюча технологія формування зносостійких покриттів на деталях рухомого складу. *Тези доповідей II-ї Всеукраїнської конференції „Вагони нового покоління: із XX в XXI сторіччя” Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. Харків : УкрДУЗТ, 2019, Вип. 184 (додаток), С. 42 – 43.

18. Комарова Г.Л., Волошина Л.В. Вплив параметрів обробки на якість формування захисних покриттів. *"Інженерія поверхні і реновація виробів" Матеріали 19-ї міжнародної науково-технічної конференції (20-24 травня 2019р., м. Свалява, Закарпатська обл.)* Київ : АТМ України, 2019, С. 75 – 77.

19. Тимофєєва Л.А., Волошина Л.В. Комплексні дослідження при розробці технологічного процесу підвищення експлуатаційних властивостей деталей масляного шестеренного насосу. *„Інтелектуальні транспортні технології” Матеріали I-ї міжнародної науково-технічної конференції, 24-30 січня 2020р.* Трускавець-Харків : УкрДУЗТ. 2020. С.116 – 117.

Додаткові праці, які відображають результати дисертації:

20. Тимофєєв С.С., Волошина Л.В., Воскобойников Д.Г. Формування покриттів багатофункціонального призначення. *Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Матеріали 19-го Международного научно-технического семинара, 18–22 февраля 2019г. г. Кошице, Slovak Republic*. Киев : АТМ Украины, 2019. С. 208 – 210.

21. Тимофєєва Л.А., Устенко О.В., Цап О.І., Волошина Л.В. Підвищення експлуатаційних показників фрикційних клинів шляхом формування покриттів зі спеціальними властивостями. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*, Харків : УкрДУЗТ. 2019. Випуск 185. С.88 – 95. (НБД Index Copernicus)

22. Волошина Л.В., Цап О.І. Дослідження впливу захисних покриттів на експлуатаційні показники фрикційних клинів гасників коливань візків вантажних вагонів. *Качество, стандартизация, контроль: теория и*

практика: Матеріали 20-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 07–11 вересня 2020 р., м. Одеса. Київ : АТМ України, 2020. С.28 – 30.

ABSTRACT

Voloshyna L.V. Higher wear resistance of an oil gear pump for tractor diesel engines.– Qualifying scientific work as manuscript.

The thesis for Candidate Degree in Engineering Science of Specialty 05.02.01 “Material Science” (132 Material Science) – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The thesis deals with the scientific problem of increasing wear resistance and efficiency of the components of an oil gear pump of internal combustion engines by means of an innovative multilayer coating forming technology in a single cycle.

The purpose of the thesis is to improve the operational properties of the components of an oil gear pump by developing the technique of applying the coating with specified properties.

The research task is to analyze efficient methods for applying coatings which can improve the tribotechnical properties of products presented in literary sources, patents, and copyrights; to analyze the mechanism of wear and material damage in the components of an oil gear pump in operation; to develop the technique of applying coatings on the components of an oil gear pump, which can provide the specified performance and wear resistance; to determine the special features of the oxy-alloying coating formation and to assess their impact on the structure and wear resistance; to determine the rational parameters of the technological oxy-alloying process, namely, aging time, saturation environment concentration, and temperature increasing the wear resistance of the oil gear pump components; to determine the effect of technological oxy-alloying parameters on the performance properties, such as, wear resistance and performance capability;

and to carry out operating tests on the oxy-alloying process and to evaluate its efficiency.

The object of the study is the formation of coatings with specified operational properties.

The subject matter of the study is a higher wear resistance of the components of an oil gear pump of internal combustion engines.

The Introduction section substantiates the relevance of the topic, describes the purpose and task of the research, defines the object and subject matter of the research, presents the scientific novelty and practical value, and provides the general description of the research.

Section One deals with the analysis of the operating conditions of an oil gear pump of internal combustion engines, the analytical overview of the issue under study, and the substantiation of the choice of the area of research.

The research reveals the main advantages and disadvantages of the proposed technical solutions, and describes the choice of the most rational and scientifically grounded technique for applying coatings, which can improve the tribotechnical characteristics of friction pairs and increase the resource of an oil gear pump. It was proved that the best technique is the application of a wear-resistance coating of aqueous solutions of salts, as it can increase the wear resistance and running-in of the components, reduce the friction coefficient, and improve the coating adhesion.

Section Two provides an analysis of properties of the materials used for producing the oil gear pump components. It presents the experimental research program and the systematic approach to a selection of the coating application technology for the oil gear pump components. The research also deals with the development of the coating application technique. The section describes the equipment used for the experiments, and the optimal research techniques.

Section Three presents the theoretical foundation of the improved coating application technique. The analysis of literary sources made it possible to select the chemical elements which most positively affect the operational properties of

friction pairs, and to substantiate the formation of coatings with the specified properties.

It was found that the main parameters of the technological process of application of aqueous salt solution coatings are treatment temperature, soil concentration, and aging time in the saturation environment. These parameters influence the formation of the surface coating and its tribotechnical properties.

The optimization of the technological parameters made it possible to determine the range of values, a change in which can improve the operational and tribotechnical properties, namely, optimal coating thickness, maximum wear resistance, optimal running-in time, and possibility to bear the maximum loading before surface scoring. The Section presents the results of the metallographic research of the coatings formed.

Section Four gives the results of the research into the properties of the coatings formed with the new technology in the laboratory environment. It also presents the analysis of the impact of these coatings on wear, score resistance, running-in time, and friction coefficient. The results of the laboratory research were used in the choice of the optimal parameters of the technological process of coating formation regarding the tribotechnical properties of the friction pairs.

Section Five is devoted to the results of operational tests on the oil gear pumps after coating application. It presents a feasibility study of the proposed technological process of application of the coatings with specified properties on the component of oil gear pumps of internal combustion engines.

The research presents original development of the innovative technological formation of coatings based on aqueous solution of aluminium-chromium-phosphate binder in order to improve the wear resistance of friction pairs; determination of the dependency between the wear and technological parameters of the coatings applied on cast iron and steel components, such as temperature, aging time, and solution concentration; determination of the dependency between the technological parameters and the coating thickness; substantiation of

simultaneous formation of a multi-layer coating on steel and cast iron components of oil gear pumps with different doping degrees.

The research describes the improved technological process of manufacturing the components of the oil gear pump of internal combustion engines with the application of the developed innovative technology to increase the wear resistance of the friction pairs of oil gear pumps and their efficiency.

The theoretical and experimental research was used for the development of the coating application technology including the oxy-alloying of the components of an oil gear pump of internal combustion engines in the aqueous solution of aluminium-chromium-phosphate binder, which is aimed at higher wear resistance and efficiency:

- determination of the rational parameters of the technology developed, in particular, heating temperature for the components, saturation environment concentration, and aging time in such environment;

- operational tests which have proved that the application of the new coating technology for the oil gear pump components provides the stable operation of the engine during inter-repair periods; and

- the results of the operational tests have demonstrated that the wear resistance of the coated parts almost 2.5 - 3 times as high as the wear resistance of the components treated according to the old technology.

The subject of the thesis was discussed in 22 scientific papers, 6 of which in professional scientific publications of Ukraine and was one included in the international abstract and citation database SCOPUS, 11 scientific conference abstracts, 3 additional, the developments are protected by one patent of Ukraine for invention.

The results of the theoretical and practical research have been integrated into the educational process in the Ukrainian State University of Railway Transport for the disciplines Materials Science, Technology of Structural Materials, Material Science and Material Technology, Resource Saving Technologies, Innovative Resource Saving Technologies, and Organization of Technological Processes.

Keywords: oil gear pump, wear, wear resistance, microstructure, tribotechnical properties, strengthening, oxy-alloying, coating with specified performance properties, technological process parameters, saturation environment.

List of applicant's publications

List of publications in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Timofeeva, L.A., Proskurina, L.V., Timofeev, S.S. Improving the performance of the oil pump parts of the SMD 60 engine. *High technologies in mechanical engineering: Sb. nauch. tr. NTU «KhPI», iss. 1 (4) / Kharkiv polytechnic institute, national tech. un-t.* Kharkiv : NTU «KhPI», 2001. P. 263 – 265.
2. Ukraine, IPC №45841A: B22F3/24. Method of chemical and thermal treatment of metal and alloy parts / Timofeeva, L.A., Proskurina, L.V., Timofeev, S.S., Fedchenko I.I.. Owner UkrSURT. №2001075170; Application.19.07.2001; Publ. 15.04.2002, Bull.№4.
3. Voloshyna L. Improving the technological process of applying wear-resistant layers on the surface of friction pairs. *Sb. nauch. Tr. UkrSART: Durability, reliability, efficiency of details of rolling stock of railways and special railway equipment.* Kharkiv : UkrSART. 2004. Issue 61. P.100 – 105.
4. Timofeeva L., Voloshyna L. Increasing the wear resistance of friction pairs by coating with aqueous solutions of salts. *Sb. nauch. Tr. UkrSART: Durability, reliability, efficiency of details of rolling stock of railways and special railway equipment.* Kharkiv : UkrSART. 2011. Issue 127. P.131 – 136.
5. Timofeeva L., Voloshyna L. Determination of technological parameters of process of treatment depending on operational properties of a covering. *Bulletin of NTU "KhPI". Subject issue: New desicions of modern technologies.* Kharkov: NTU "KhPI". 2012. №66. P. 20 – 23.

6. Voloshyna L. Definition and optimization of parameters of new technology depending on the set properties of a covering. *Sb. nauch. Tr. UkrSART*. Kharkiv : UkrSART. 2012. Issue 134. P. 224 – 229.

7. Timofeeva L., Voloshyna L. Gordienko P. Analysis of technological parameters of process wearproof of coverage. *Sb. nauch. Tr. UkrSURT*. Kharkiv : UkrSURT. 2017. Issue 170. P.13 – 19. (НБД Index Copernicus)

Publications in editions of other countries:

8. Timofeeva, L.A., Proskurina, L.V., Ostapchuk, V.N., Timofeev, S.S. Conditions control of antifriction and friction state of friction units. *Tyazheloe Mashinostroenie*, 2002, (3), P. 27–28. (SCOPUS)

Works certifying the approbation of the dissertation materials:

9. Timofeeva, L.A., Proskurina, L.V. Improving the reliability of oil gear pumps. *Surface Engineering and Product Renovation. Materials of the 3rd International Scientific and Technical Conference*. Kiev. 2003. P.201 – 202.

10. Proskurina, L.V. Influence of technological parameters of chemical-heat treatment on the wear resistance of the friction pair gear - oil pump housing. *Modern problems of production preparation, processing and assembly in mechanical engineering and instrument making. Materials of the 3rd International Scientific and Technical Seminar*. Kiev. 2003. P.126 – 128.

11. Timofeeva L., Voloshyna L. Improving the quality of friction pairs by applying wear-resistant coatings. *Quality, standardization, control: theory and practice: Materials of the 11th International Scientific and Practical Conference*. Kiev. 2011. P.151 – 153.

12. Timofeeva L.A., Fedchenko I.I., Voloshyna L.V. Investigation of the influence of the surface layer on the tribotechnical properties of iron-carbon alloys. *Materials 12th International Scientific and Technical Conference "Surface Engineering and Renovation of Products" June 04-08, 2012, Yalta, Crimea*. Kiev : ATM Ukraine, 2012, P. 294 – 297.

13. Voloshyna L.V. Resource-saving technology of drawing coverings. *Abstracts 75th International Scientific and Technical Conference "Development of Scientific and Innovative Activities in Transport". Collection of scientific works.* Kharkiv : UkrSART, 2013, Issue. 136, P. 349.

14. Voloshyna L. Results of metallography research of coverage are from water solution of aluminiumchromephosphate of salt. *Abstracts 79th International Scientific and Technical Conference "Development of Scientific and Innovative Activities in Transport". Kharkiv, April 25-27, 2017. Collection of scientific works.* Kharkiv : UkrSURT, 2017, Issue. 169 (addition), P. 138 – 140.

15. Voloshyna L.V. To question of research of influence of composition of coverage on tribotechnical of property of iron-carbon alloys. *Abstracts 80th International Scientific and Technical Conference "Development of Scientific and Innovative Activities in Transport". Collection of scientific works.* Kharkiv : UkrSURT, 2018, Issue. 177, P. 93.

16. Timofeeva L., Voloshyna L. Improving the quality and efficiency of oil gear pumps of internal combustion engines. *Quality, standardization, control: theory and practice: Materials of the 18th International Scientific and Practical Conference, 03–07 september 2018., Odessa- Kiev : ATM Ukraine, 2018. P.108 – 110.*

17. Voloshyna L. Resource-saving technology forming of wear-resistant coatings at transport details. *Abstracts 2nd All-Ukrainian Conference "New Generation Wagons: from the XX to the XXI Century" Collection of scientific works.* Kharkiv : UkrSURT, 2019, Issue. 184(addition), C. 42 – 43.

18. Komarova G.L., Voloshyna L.V. Influence of processing parameters on the quality of formation of protective coatings. *Materials 19th International Scientific and Technical Conference "Surface Engineering and Renovation of Products" May 20-24, 2019, Svalyava. Kiev : ATM Ukraine, 2019, P. 75 – 77.*

19. Timofeeva L., Voloshyna L. Complex researches in the development of the technological process of improving the operating properties of oil gear pump

parts. *1th International Scientific and Technical Conference «Intellectual transport technology» Abstracts*. Kharkiv : UkrSURT, 2020. P.116 – 117.

Works that additionally reflect the scientific results of the dissertation:

20. Timofeev, S.S., Voloshyna L.V., Voskoboynykov D.G. Formation of multifunctional coatings. *Modern issues of production and repair in industry and transport: Materials of the 19th International Scientific and Technical Seminar, February 18-22, Koschythe, Slovak Republic*. Kiev : ATM Ukraine, 2019. P. 208–210.

21. Timofeeva L.A., Ustenko O.V., Thap O.I., Voloshyna L.V. Increase exploitative indicators of friction wedges by forming coatings with special features. *Collection of scientific works UkrSURT*. Kharkiv : UkrSURT. 2019. Issue 185. P.88 – 95. (Index Copernicus)

22. Voloshyna L., Thap O. Investigation of the influence of protective coatings on operating indicators of friction wedges frequencies vibration dampers of bogies freight wagons. *Quality, standardization, control: theory and practice: Materials of the 20th International Scientific and Practical Conference, 07–11 september 2020.*, Odessa- Kiev : ATM Ukraine, 2020. P.28 – 30.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ВСТУП	20
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	27
1.1 Аналіз умов роботи пари тертя: шестерня – корпус масляного насосу	27
1.2 Матеріали, які застосовуються для виготовлення деталей масляних шестеренних насосів	37
1.3 Основні методи підвищення зносостійкості поверхонь тертя	40
1.4 Висновки до першого розділу	56
РОЗДІЛ 2 ВИБІР МАТЕРІАЛІВ, ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИК ДОСЛІДЖЕННЯ	58
2.1 Аналіз властивостей матеріалів, які застосовуються для виготовлення пари тертя шестерня-корпус	58
2.2 Розробка способу нанесення покриттів	61
2.3 Лабораторне обладнання для нанесення покриттів	63
2.4 Методики визначення зносу пар тертя	65
2.5 Визначення коефіцієнту тертя	68
2.6 Металографічні дослідження зразків	69
2.6.1 Методика проведення рентгеноспектрального флуоресцентного аналізу	70
2.6.2 Дослідження фазового складу зразків	70
2.6.3 Визначення товщини нанесеного поверхневого шару	71
2.7 Висновки до другого розділу	72
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ	74
3.1 Вибір складу насичуючого середовища	74
3.2 Оптимізація параметрів технологічного процесу за допомогою лінійного регресійного аналізу	78

3.3	Визначення технологічних параметрів нової технології в залежності від експлуатаційних властивостей покриття	90
3.4	Результати металографічних досліджень зразків	97
3.4.1	Рентгеноспектральний аналіз зразків	97
3.4.2	Результати проведення дослідження фазового складу зразків	98
3.4.3	Дослідження мікроструктури зразків	101
3.4.4	Визначення товщини утвореного покриття	105
3.5	Висновки до третього розділу	106
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТЯ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ		107
4.1	Дослідження впливу параметрів процесу і насичуючого середовища, на знос пар тертя чавун-сталь	107
4.2	Визначення впливу обробки сплавів у водних розчинах солей на знос пар тертя сталь-сталь	130
4.3	Аналіз впливу одержаних покриттів на утворення задирів на робочих поверхнях пар тертя	140
4.4	Визначення коефіцієнту тертя	146
4.5	Висновки до четвертого розділу	151
РОЗДІЛ 5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАСЛЯНИХ ШЕСТЕРЕННИХ НАСОСІВ. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ НОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ		153
5.1	Стендові іспити масляних шестеренних насосів	153
5.2	Розрахунок економічного ефекту від нової технології нанесення покриттів	157
5.3	Висновки до п'ятого розділу	162
ВИСНОВКИ		163
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		166
ДОДАТКИ		189

ВСТУП

Актуальність теми. В сучасних складних умовах, в яких перебуває машинобудування України, задача підвищення строку служби деталей машин і агрегатів, їх довговічності і надійності набуває дуже важливого значення. Якість машин, спеціального обладнання та пристроїв у значній мірі визначається ресурсом їх роботи, недостатнім для більшої частини технічних систем, що виготовляються та експлуатуються на даний момент. Ресурс багатьох машин зумовлений низькою зносостійкістю рухомих спряжень та деталей тертя. В зв'язку з цим пошуки і розробка нових технологій, які забезпечать збільшення строку служби деталей тертя, стає першочерговим науковим завданням.

Як показали результати експлуатаційних досліджень пари тертя шестерня - корпус масляного шестеренного насосу двигунів СМД-60, -62, -64, найчастіше його елементи виходять з ладу через знос шестерень і внутрішніх поверхонь корпусу, що сприяє підвищенню витікання масла, за рахунок збільшення зазору в парі тертя, а також масляне "голодування" деталей і вузлів двигуна в цілому із-за зменшення об'єму подачі змащувальних матеріалів.

Реновація поверхні пов'язана із значними витратами, що полягають у розбиранні двигуна, перевірці масляного насоса на забезпечення рівня подачі, розбиранні насоса, дефектації, вибракуванні і відновленні деталей масляного насоса. Тому підвищення зносостійкості розглянутої пари тертя є актуальною науковою проблемою. Вирішити дану проблему можна за рахунок нанесення зносостійкого покриття на шестерні і внутрішні поверхні корпусу.

У більшості випадків техніка виходить з ладу внаслідок зносу навантажених деталей, насамперед - вузлів тертя: руйнується тільки робоча поверхня деталі; яку можна відновити нанесенням шару матеріалу зі

спеціальними властивостями. Широке застосування покриттів обумовлене різноманіттям матеріалів, які можна наносити, а це дає можливість моделювання широкого діапазону властивостей контактуючих поверхонь, способів нанесення, дозволяє економити дорогі матеріали і забезпечує високу ефективність.

Застосування захисних покриттів - кардинальне і економічно ефективне рішення проблем збільшення питомої потужності, надійності і довговічності сучасних машин і механізмів. Захисні покриття не тільки дозволяють заощаджувати метал, збільшувати довговічність конструкцій, економно витратити енергоресурси, але й дають можливість створювати принципово нові вироби необхідні для створення сучасної техніки.

У зв'язку з цим тема дисертації є актуальною і зорієнтована на вирішення наукового завдання з розробки технології формування покриттів на деталях масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання, яка забезпечує підвищення зносостійкості та працездатності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертаційної роботи виконані відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р), Стратегічних пріоритетних напрямів інноваційної діяльності на 2011-2021 роки, згідно Закону України № 2519-IV від 09.10.2010 р. «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» за пріоритетним напрямком розвитку науки і техніки «Новітні та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі». Окремі дослідження за темою дисертаційної роботи виконані відповідно до тематики науково-дослідних робіт за темами: «Розробка технології комплексної механічної обробки для деталей транспортного призначення» (ДР№0115U006512); «Розробка нового складу ріжучого інструменту для обробки твердих матеріалів» (ДР№0115U006511).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення експлуатаційних властивостей деталей масляних шестеренних насосів за рахунок розробки способу нанесення покриття з заданими властивостями.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі наукові та практичні завдання:

- на основі літературних джерел інформації, огляду патентів і авторських свідоцтв провести аналіз ефективних методів нанесення покриттів, які використовують для покращення триботехнічних властивостей виробів;
- провести аналіз механізму зносу, пошкодження матеріалу деталей масляних шестеренних насосів при їх експлуатації;
- розробити спосіб нанесення покриттів на деталі масляного шестеренного насосу, що забезпечить задану працездатність і зносостійкість;
- визначити особливості формування окислегованих покриттів і оцінити їх вплив на структуру і зносостійкість;
- визначити раціональні параметри технологічного процесу окислегування, а саме час витримки, концентрацію насичуючого середовища і температуру, які забезпечать підвищення зносостійкості деталей масляного шестеренного насосу;
- визначити вплив технологічних параметрів окислегування на експлуатаційні властивості, а саме зносостійкість та працездатність;
- провести експлуатаційні випробування технологічного процесу окислегування і оцінити його економічну ефективність.

Об'єкт дослідження – процес формування покриттів з заданими експлуатаційними властивостями.

Предмет дослідження - підвищення зносостійкості деталей масляних шестеренних насосів двигунів внутрішнього згорання.

Методи дослідження. В роботі при виконанні експериментальних досліджень використано обладнання для триботехнічних випробувань, для

вивчення структурно-фазового складу покриття використовувалися металографічні методи, метод оптичної мікроскопії, методика рентгеноспектрального флуоресцентного аналізу, рентгенівський метод дослідження фазового складу. Достовірність результатів, одержаних в роботі, підтверджується використанням експериментально-технічних положень при математичному плануванні експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному.

У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання щодо підвищення зносостійкості та працездатності деталей масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання за рахунок розроблення інноваційної технології формування багатошарового покриття в одному технологічному циклі.

Вперше:

- розроблено інноваційний технологічний процес формування покриттів з використанням водного розчину алюмохромфосфатного зв'язуючого, що дозволить підвищити зносостійкість пар тертя;

- визначено залежність між величиною зносу і технологічними параметрами нанесення покриттів на чавунних та сталевих деталях: температурою, часом витримки і концентрацією розчину;

- визначено залежність впливу технологічних параметрів на товщину покриття;

- розроблено комплексну технологію одночасного формування багатошарового покриття, що базується на послідовному формуванні перехідного шару покриття з різним ступенем легованості на сталевих та чавунних деталях масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання.

Удосконалено: технологічний процес формування покриттів багатофункціонального призначення в одному технологічному циклі на деталях масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання, що забезпечить підвищення їх зносостійкості та працездатності.

Практичне значення одержаних результатів. На основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблена технологія нанесення покриттів, яка складається з окислення у водному розчині алюмохромфосфатного зв'язуючого деталей масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згоряння, що забезпечує підвищення зносостійкості та працездатності:

- визначені раціональні параметри розробленої технології, зокрема температуру нагріву деталей, концентрацію насичуючого середовища та час витримки у цьому середовищі;

- проведено експлуатаційні випробування, які довели, що використання нової технології нанесення покриттів на деталі масляних шестеренних насосів забезпечує їх працездатність протягом усього міжремонтного періоду двигуна;

- результати експлуатаційних випробувань довели, що зносостійкість деталей з покриттям перевищує майже в 2,5 - 3 рази зносостійкість деталей за базовою технологією.

Результати теоретичних і практичних досліджень впроваджені у навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту при вивченні таких дисциплін, як «Матеріалознавство», «Технологія конструкційних матеріалів», «Нові матеріали та технології виготовлення і відновлення деталей», «Ресурсозберігаючі технології».

Особистий внесок здобувача. Експериментальні та теоретичні дослідження, що виносяться до захисту, отримані автором самостійно та викладені у роботах [1-22]. У наукових роботах, що опубліковані у співавторстві, здобувачеві належать: планування та виконання експериментів [1,2,4,5,7-9,11,12,16,18,20-22], обґрунтована нова технологія одержання покриттів та підвищення зносостійкості деталей з залізобуглецевих сплавів [1,4,5,9,11]; встановлений вплив способу та параметрів нанесення покриттів на досягнення заданих властивостей [7,8,16,19]; експериментальне дослідження мікроструктури та властивостей покриттів сформованих на зразках із чавуну та сталі після окислення [5,7,12]; експериментальні

дослідження впливу технологічних параметрів нанесення покриття при запропонованій технології окислення, а також попереднього стану чавуну та сталі на ефективність формування покриттів з заданими властивостями та вибір оптимальних параметрів обробки [7,8]; теоретичні дослідження впливу хімічного складу покриттів на можливість формування зносостійких покриттів на залізобетонних сплавах [1,2,4]; експериментальні дослідження фазових та структурних перетворень в поверхневих шарах чавуну та сталі, а також у шарах покриття, сформованого у результаті окислення із водного розчину алюмохромфосфатного зв'язуючого [12,18]; експериментальні дослідження впливу хімічного складу покриття та технологічних параметрів формування покриття на триботехнічні властивості поверхонь тертя [5,7,8, 19-22].

Апробація результатів досліджень. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях у період з 2001 по 2020 р.р.: 1-й Міжнародній науково-технічній конференції "Інженерія поверхні і реновація виробів" (м. Феодосія, Київ: АТМ України, 2001 р.); 2-й Міжнародній науково-технічній конференції "Інженерія поверхні і реновація виробів" (м. Ялта, Київ: АТМ України, 2002р.), 3-ому Міжнародному науково-технічному семінарі «Сучасні проблеми підготовки виробництва, обробки і зборки в машинобудуванні і приладобудуванні» (м. Свалява, Карпати, АТМ України, 2003р.); 3-й Міжнародній науково-технічній конференції "Інженерія поверхні і реновація виробів" (м. Ялта, Київ: АТМ України, 2003р.); 11-й Міжнародній науково-практичній конференції „Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика”(м. Ялта, Київ: АТМ України, 2011р.); 12-й Міжнародній науково-технічній конференції "Інженерія поверхні і реновація виробів" (м. Ялта, Крим, Київ: АТМ України, 2012р.), 79-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, УкрДУЗТ, 25-27 квіт. 2017р.); 80-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності

на транспорті» (Харків, УкрДУЗТ, квіт. 2018р.); 18-й міжнародній науково-практичній конференції „Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика” (м. Одеса. Київ: АТМ України, 2018); 19-му Міжнародному науково-технічному семінарі „Сучасні питання виробництва і ремонту в промисловості і на транспорті”(г. Кошице, Slovak Republic – Київ: АТМ України, 2019); 19-й Міжнародній науково-технічній конференції "Інженерія поверхні і реновація виробів" (м. Свалява, Київ: АТМ України, 2019) з опублікуванням тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій; II-й Всеукраїнській конференції „Вагони нового покоління: із ХХ в ХХІ сторіччя”(м. Харків: УкрДУЗТ, 2019); 19-та міжнародна науково-технічна конференція "Інженерія поверхні і реновація виробів" (20-24 травня 2019р., м. Свалява, Закарпатська обл. Київ: АТМ України, 2019); I-а міжнародна науково-технічна конференція „Інтелектуальні транспортні технології” (24-30 січня 2020р. Трускавець-Харків: УкрДУЗТ); 20-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика» (07–11 вересня 2020 р., м. Одеса. – Київ: АТМ України).

Основні положення дисертації доповідалися на кафедрі „Якість, стандартизація, сертифікація та технології виготовлення матеріалів” в рамках науково-технічної конференції УкрДУЗТ з 2001 по 2020 р.р.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 22 наукових працях, в тому числі: 6 статей у фахових наукових виданнях України; 1 стаття у виданні, що включено до міжнародних наукометричних баз, а саме SCOPUS; 11 праць апробаційного характеру; 3 додаткових. Розробка захищена 1 патентом України на винахід (Додаток Б).

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів з висновками, загальних висновків по роботі, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 195 сторінок, у тому числі 165 сторінок основного тексту, 13 таблиць, 91 рисунок, списку використаних джерел із 217 найменувань на 23 сторінках, 7 сторінок додатків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кернасюк Ю. Потенціал розвитку ринку техніки АПК. *Агробізнес сьогодні*. 2018. Режим доступу: <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/10881-potentsial-rozvytku-rynku-tekhniku-apk.html>
2. Скоцик В.Є. Формування попиту на ринку сільськогосподарської техніки: сучасний стан та шляхи вирішення. *Інвестиції: практика та досвід*, № 14. 2018. С.14-17.
3. Северный А.Э. Рынок подержанной техники и резерв сохранения технического потенциала в сельском хозяйстве. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2000. №2. С.4-6.
4. Федотов А.В. Теоретические основы функционирования и экономический механизм развития рынка сельскохозяйственной техники. М. : ГНУ ВНИИЭСХ, 2005. 220 с.
5. Іванишин В. В. Тенденції розвитку світового ринку сільськогосподарської техніки. *Ефективна економіка*, № 2, 2012. Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1509>
6. Черноиванов В.И. Основные направления развития технического сервиса в сельском хозяйстве. Материалы научно-практической конференции. М. : ГОСНИТИ, 26-27 октября 1993 г. С.40-46.
7. Тельнов Н. Ф. Ремонт масляных насосов и фильтров тракторных и комбайновых двигателей. М. : Колос. 1968. 119 с.
8. Насоси шестеренні об'ємного гідроприводу. Технічні умови. ГСТУ 3-25-180-97. К. : Мінпром політики України, 1998. 48 с.
9. Юдин Е. М. Шестеренные насосы. М. : Машиностроение, 1964. 236 с.

10. Ермолов Л.С., Науменко О.А., Сідашенко О.І., Шержуков І.Г. Ремонт дизельних двигунів. Довідник. К. : Урожай, 1991. 248 с.
11. Сідашенко О.І., Науменко О.А. Ремонт машин: підручник / під ред. Сідашенко О.І, Поліського А.Л. К. : Урожай. 1994. 400с.
12. Техническое обслуживание и ремонт тракторов Т-150, Т-150К различных модификаций с двигателями СМД, ЯМЗ, ДОЙТЦ [Текст] : учеб. пособие / А. И. Сидашенко, А. А. Науменко, В. К. Аветисян, А. К. Автухов, В. А. Бантковский, Т. С. Скобло [та ін.]; под ред. А. И. Сидашенко, А. А. Науменко. Х. : ООО "Украгроззапчасть", 2002. 380 с.
13. Черновол М.І., Кулешков Ю.В. Основні напрями вдосконалення шестеренних насосів сільськогосподарської техніки. *Вісник аграрної науки*, 2008. № 8. С. 52 - 54.
14. Методика проведения технической экспертизы насосов шестеренных (НШ) производства ПАО «Гидросила» 2018. 40с. Режим доступу: <https://www.hydroсила.com/files/brochure/ru-brochure-18.pdf>
15. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин: Справочник. М. : «Машиностроение», 1984. 280 с.
16. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М. : Машиностроение, 1977. 526 с.
17. Справочник по триботехнике: В 3 т. Т2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / Под общ. Ред. М. Хебды, А.В.Чичинадзе. М. : «Машиностроение», 1990. 416 с.
18. Зозуля В.Д., Шведков Е.Л., Ровинский Д.Я., Браун Э.Д. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин. Киев : Наукова думка, 1990. 264 с.
19. Артемьев Ю.Н. Качество ремонта и надежности машин в сельском хозяйстве. М.: Колос, 1981. 239 с.
20. Стали и сплавы. Марочник./ Под ред. В.Г. Сорокина, М.А. Гервасьева. М. : Интермет Инжиниринг, 2003. 608 с.

21. Материалы в машиностроении. Выбор и применение. Справочник в пяти томах. Т. 2. Конструкционная сталь / Под общ. ред. д.т.н. проф. Кудрявцева И.В. М. : Машиностроение, 1967. 248с.
22. Козловский И.О. Химико-термическая обработка шестерен. М. : Машиностроение, 1970. 232 с.
23. Зинченко В. М. Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки : Монография. М., 2001. 302с.
24. Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки: ГОСТ 1412-85. Переизд. 3-е. Москва. ИПК изд-во стандартов, 2004г. 5с.
25. Материалы в машиностроении. Выбор и применение. Справочник в пяти томах. Т. 4. Чугун. / Под ред. к.т.н. Жукова А.А. и Шермана А.Д. Под общ. ред. д.т.н. проф. Кудрявцева И.В., М. : Машиностроение, 1969. 248с.
26. Чугун: Справ. изд. / Под ред. А.Д.Шермана и А.А. Жукова. – М. : Металургія, 1991. 576с.
27. Дяченко С.С., Дощечкіна І.В., Мовлян А.О., Плешаков Е.І. Матеріалознавство : підручник. Х. : Вид-во ХНАДУ, 2007. 440 с.
28. Сапунов С.В. Материаловедение : учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. Санкт-Петербург : Лань, 2021. 208 с. ISBN 978-5-8114-1793-3.
29. Chernovol M., Kuleshkov Yur., Rudenko T. Krasota M. The main directions of improving technical level of gear pumps of agricultural machines. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Випуск 45. Ч. 2, 2015. С. 168-174. Режим доступа: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/2289>
30. Надежность и ремонт машин. Курчаткин В.В., Тельнов Н.Ф., Ачкасов К.А. и др./ Под ред. Курчаткина В.В. М. : Колос, 2000. 776 с.

31. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. Москва : Техносфера, 2004. 384с. ISBN 5-94836-018-0
32. Сорокин Г.М. Аспекты металловедения в проблеме долговечности машин. *Металловедение и термическая обработка металлов*, №2, 1990, С. 57-60.
33. Черновол М.И. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники: Учеб. Пособие, К. : УМК ВО, 1989. 256с.
34. Ремонт машин та обладнання : підручник / А. І. Сідашенко, О. А. Науменко, Т. С. Скобло, О. В. Тіхонов, М. І. Черновол, З. В. Ружило [та ін.]; за ред. А. І. Сідашенка, О. А. Науменка; ХНТУСГ. Х.: Міськдрук, 2010. 744 с.
35. Черноиванов В.И., Андреев В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин. М. : Колос, 1983. 288с.
36. Турецкий И. В. Совершенствование конструкции масляных насосов дизелей ОАО "ПО АМЗ" : дис.кандидат технических наук : 05.04.02 – Тепловые двигатели. Барнаул. 2006. 145с.
37. Особенности работы и конструкции шестеренного насоса / Ю. В. Кулешков, Т. В. Руденко, М. В. Красота [и др.] *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин* : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кропивницький : ЦНТУ, 2017. Вип. 47, ч. 1. С. 115-124.
38. Тюняев А.В. Совершенствование геометрии шестерен масляного насоса ДВС: Учебное пособие. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1998. 45 с.
39. Клишин А.Н. Повышение эксплуатационных характеристик ДВС путем использования смазок с ультрадисперсным фторопластом. *Двигатели внутреннего сгорания*, №1, 2006. С.140-150.

40. Поскребышев В.А., Исько А.Б., Аршинов С.С., Тарновский А.И. Техническое решение по снижению торцевых утечек и потерь на трение в шестеренных насосах. *Системы. Методы. Технологии*, 2010. №2. С.122-124.
41. Аистов И.П., Свищёв А.В. Шестеренные насосы для гидрофицированных машин и нефтехимических производств. *Системы. Методы. Технологии*, 2014. № 3 (23). С. 149-152.
42. Хрущов, М. М. [Трение, износ и микротвердость материалов. Избранные работы.](#) М. : Красанд, 2012. 512с.
43. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. 368с.
44. Чичинадзе А. В., Браун Э. Д., Буше Н. А. и др Основы трибологии (трение, износ, смазка) М. : Машиностроение, 2001. 664с.
45. Богданович П.И., Прушак В.Я., Богданович С.П. Трение, смазка и износ в машинах. Учебник. Минск : Тэхналогія, 2011. 527с.
46. Гаркунов Д. Н., Корник П. И. Виды трения и износа. Эксплуатационные повреждения деталей машин. М. : Изд-во МСХА, 2003. 344 с
47. Мышкин Н. К. Петроковец М. И. Трение, смазка, износ. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 368 с.
48. Токмин А. М., Темных В. И., Свечникова Л. А. Выбор материалов и технологий : учеб. Пособие. М. : Инфа-М, 2014. 235 с.
49. Уланский В.Б., Маняк Л.К. Новые способы упрочнения деталей машин: Справочное пособие. Донецк : Донбасс, 1990. 144с.
50. Елагина О. Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин : учеб. пособие. Университетская книга. Логос, 2009. 485 с.

51. Материаловедение и технология металлов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др. М. : Высшая школа, 2005. 862 с.
52. Мельник П. И. Технология защитных покрытий. К. : Техника, 1978. 151с.
53. Peter Panjan, Aljaž Drnovšek, Janez Kovač. Tribological aspects related to the morphology of PVD hard coatings. *Surface and Coatings Technology*, 2018. Vol. 343. P. 138-147.
54. Aharon Inspektor, Paul A. Salvador. Architecture of PVD coatings for metalcutting applications: A review. *Surface and Coatings Technology*, 2014. Vol. 257. P. 138-153.
55. Харламов Ю.О., Будагьянц Н.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин: Учебное пособие: В 2-х т. Луганськ: изд.-во Восточнoукраинского национального университета им. В. Даля, 2003. 496 с.
56. Бойцов А.Г., Машков В.Н., Смоленцев В.А., Хворостухин Л.А. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами. М. : «Машиностроение», 1991. 144с.
57. Ачкасов А.К. Прогрессивные способы ремонта сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1984. 271 с.
58. Белый А.В., Карпенко Г.Д., Мышкин Н.К. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев. М. : Машиностроение, 1991. 208с.
59. Полевой С. Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов: Справочник. М. : Машиностроение, 1986. 320с.
60. Скобло Т. С., Гончаренко А. А., Марьенко Н. С. Методы повышения технического уровня и качества деталей сельскохозяйственных машин при их восстановлении. *Вісник Харківського нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка*. Х., 2011.

Вип. 110 : Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладн. у ремонтному вир-ві. С. 55-64.

61. Скобло Т. С. Нові напрямки в зміцненні деталей. *Технічне забезп. інновац. технологій АПК* : VII Міжнар. наук.-метод. конф. Х.: ХНТУСГ, 2010. С. 3-7.

62. Сидашенко А. И., Скобло Т. С., Харьяков А. В. Повышение долговечности деталей нанесением износостойких покрытий плазменно-порошковым методом. *Опыт, проблемы и перспективы развития технического сервиса в АПК* : докл. Междунар. науч.-практ. конф. БГАТУ, 15-18 апр. 2009 г. Минск, 2009. Ч. 1. С. 262-267.

63. Вартелеев С.С., Федько Ю.П., Гиргоров А.И. Детонационные покрытия в машиностроении. М. : Машиностроение, 1982. 215 с.

64. Молодык Н.В., Зенкин А.С. Восстановление деталей машин. Справочник. М. : Машиностроение, 1989. 480с.

65. Черноиванов В.И. Методика и рекомендации по восстановлению деталей способами газотермического напыления. М. : ГОСНИТИ, 1983. 62 с.

66. Газотермическое напыление покрытий. Сборник руководящих технических материалов. К. : ИЭС им. Е.О.Патона, 1993. 175 с.

67. Корж В.М., Кузнецов В.Д., Борисов Ю.С., Ющенко К.А. Нанесення покриття: Навчальний посібник/за редакцією акад.. НАН України К.А.Ющенко. К. : Арістей, 2005. 204 с.

68. Корж В.М. Газотермічна обробка матеріалів : Навчальний посібник. К. : «Екотехнологія», 2005. 195с.

69. Корж В.М. Технологія та обладнання для напылення: Навчальний посібник. К. : НМЦВО, 2000. 152 с.

70. Витязь П.А., Ивашко В.С., Манойло Е.Д. и др. Теория и практика газопламенного напыления. М. : Наука и техника, 1993. 295 с.

71. Власов В.М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей. М. : Машиностроение, 1987. 304с.
72. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин. М. : Машиностроение, 1988. 196 с.
73. Скобло Т.С., Власовец В.М., Мороз В.В. Структура и распределение компонентов в рабочем слое при восстановлении деталей электродуговой металлизацией. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2001, № 12. С. 26-29.
74. Скобло Т. С., Сидашенко А. И., Власовец В. М., Шемет А. В. Разработка технологии восстановления с использованием лазерного луча. *Науковий вісн. Луганського нац. аграр. ун-ту*. Луганськ, 2011. Спец. вип. № 30. С. 249-256.
75. Елизаветин М.А., Сатель Э.А. Технологические способы повышения долговечности машин. М.: Машиностроение, 1989. 399 с.
76. Покрyтия и обработка поверхности для защиты от коррозии и износа. Сборник статей под. Ред. Страффорда К.Н., Датты П.К., Гуджена К.Дж., Пер англ/под. Ред. Кудинова, М. : «Металлургия», 1991. 240с.
77. Поляк М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. В 2 т. Т. 1.- М.: «Л.В.М.- Скрипт», «Машиностроение», 1995. 832 с.:ил.
78. Поляк М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. В 2 т. Т. 2. М.: «Л.В.М.- Скрипт», «Машиностроение», 1995. 688 с.:ил.
79. Фень Е.К., Пащенко В.Н. Восстановление деталей транспортной техники методом электродугового напыления. *Сварщик*. 2005. №3. С.16-18.
80. Пащенко В.Н., Фень Е.К. Восстановление деталей авиационной техники методом сверхзвукового плазменного напыления. *Сварщик*. 2006. №5. С. 26-28.

81. Фень Е.К. Износо- и жароизносостойкие материалы для сверхзвукового плазменного и электродугового напыления. *Сварщик*. 2011. №1. С.32-35.
82. Кудинов В.В., Пекшев П.Ю., Белащенко В.Е. и др. Нанесение покрытий плазмой. М. : Наука, 1990. 408 с.
83. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. Учебник для ВУЗов. М. : Металлургия, 1992. 432 с.
84. Коротков В. А. Влияние термической обработки на износостойкость сталей 45 и 40Х. *Вестник машиностроения*. 2016. № 8. С. 48-51.
85. Коротков В. А. Влияние плазменной закалки на износостойкость стали 38ХС. *Трение и износ*. 2017. Т. 38, № 4. С. 346-350.
86. Коротков В. А. Исследование износостойкости легированных сталей, упрочненных плазменной закалкой. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2018. № 5. С. 47-48
87. Коротков В. А. Исследование поверхностного пластического деформирования наплавленного металла. *Вестник машиностроения*. 2014. № 3. С.76-77.
88. Кондратьев Е.Т., Кондратьев В.Е. Восстановление наплавкой деталей сельскохозяйственных машин. М. : Металлургия, 1989. 95 с.
89. Шехтед С.Я., Резницкий А.М. Наплавка металлов. М. : Машиностроение, 1982. 72 с.
90. Авдеев М.В., Воловик Е.А., Ульман И.Е. Технология ремонта машин и оборудования. М. : Агпромиздат, 1986. 247 с.
91. Семчук Г.И. Методы восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственных машин. *Технологический аудит и резервы производства*, № 5/4(13), 2013. С. 57-59. ISSN 2226-3780

92. Авдеев Н.В. Основы технологии материалов покрытий. Учебник для студентов технических вузов. Оренбург, ИПК ОГУ, 2003. 316с.
93. Ткачев В.Н. Методы повышения долговечности сельскохозяйственных машин. М. : Изд-во АО «ТИС», 1993. 211 с.
94. Борисов Ю.С., Борисова А.Л. Плазменные порошковые покрытия. К. : Техніка, 1986. 223 с.
95. Коротков В. А. Применение электроискровой обработки при ремонте механического оборудования. *Вестник машиностроения*. 2018. № 1. С. 77-81.
96. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин/ Под ред. В.С. Попова. Запорожье: Издательство ОАО „Мотор Сич”, 2000. 394 с.
97. Asayama Y., Hiyama M., Nakayama T. Ionization and diffusion of metal atoms under electric field at metal / insulator interfaces. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 2017. Vol. 70. P. 78–82.
98. Трефилова Н. В. Анализ современных методов нанесения защитных покрытий. *Современные наукоёмкие технологии*. 2014. № 10. С. 67– 67.
99. Панин А.В., Шугуров А.Р., Колмаков А.Г. Методы нанесения защитных покрытий: учебное пособие. Томский политехнический университет. Томск : Изд-во ООО «СПБ Графикс», 2020. 109 с.
100. Каданер Л.И. Защитные пленки на металлах. Харьков, изд-во Харьковского университета, 1956. 283 с.
101. Фесенко А. Г. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин. Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2015. 104 с.
102. Евдокимов В.Д., Клименко Л.П., Евдокимова А.Н. Технология упрочнения машиностроительных материалов Учебное пособие-справочник / Под редакцией д. т. н., проф. В. Д. Евдокимова. Одесса-Николаев: Изд-во НГГУ им. Петра Могилы, 2005. – 352 с.

103. Белкин П. Н. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов. М. : Мир, 2005. 336 с.
104. Hang Zhao, Jianjun Li, Zhizhen Zheng, Aihua Wang, Yafeng Miao [The microstructures and tribological properties of composite coatings formed via PTA surface alloying of copper on nodular cast iron. *Surface and Coatings Technology*, 2016. Vol. 286. P. 303-312.](#)
105. Упрочнение стали 40Х комбинированной обработкой с применением лазера / А. Идан, О. В. Акимов, Е. А. Костик, А. А. Гончарук. *Металл и литье Украины*. 2016. № 7 (278). С. 33–35.
106. Коган Я.Д. Ресурсосберегающие технологии химико-термической обработки. *Сборник научных трудов МАДИ "Ресурсосберегающие технологии поверхностного упрочнения деталей"*, М., 1987. С.23-29.
107. Лахтин Ю.М.. Поверхностное упрочнение сталей и сплавов. *Металловедение и термическая обработка металлов*, №11, 1988. С. 14-25.
108. Дубинин Г.Н. О перспективах развития химико-термической обработки металлов. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2004.№ 7. С. 5-6.
109. Кравцова Е. А. Диффузионные методы упрочнения материалов : Учеб. пособие . Тольятти : ТГУ, 2006. 77с.
110. Лахтин Ю.М. *Металловедение и термическая обработка металлов : учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп.* М. : ООО «ТИД «Аз-book», 2009. 448 с.
111. Герасимова Н. С. *Химико-термическая обработка сталей и сплавов : учебное пособие по курсу «Материаловедение».* Калуга : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. 48 с.
112. Ворошнин Л. Г., Менделеева О. Л., Смёткин В. А. *Теория и технология химико-термической обработки.* Новое знание, 2010. 297 с.

113. Жуковский А.В., Морозов Е.М., Шандров Б.В. Оборудование и технологии микродугового оксидирования. *Автомобильная промышленность*, 2007, № 5. С.37-39.
114. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Лялякин В.П., Михайлин Б.И. Методы химико-термической обработки при упрочнении восстановленных деталей. *Вестник машиностроения*.1988. № 2. С.54-57.
115. Ивашко В.С., Куприянов И.А., Шевцов А.И. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий. Мн.: Навука і техніка, 1996. 345 с.
116. Бурделюк Л. І., Крюкова О. А. Характеристика сучасних методів нанесення захисних цинкових покриттів. *Технології та дизайн*. 2020. № 4 (37). http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2020_4_14.
117. Лахтин Ю.М. Поверхностное упрочнение сталей и сплавов. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 1988, № 11. С. 14-25.
118. Medvedovski E., Dudziak T. Protective coatings for high-temperature steam oxidation in coal-fired power plants. *Surface and Coatings Technology*, 2019. Vol. 369. P. 127-141.
119. Похмурский В. И., Далисов В. Б., Голубец В. М. Повышение долговечности деталей машин с помощью диффузионных покрытий. К. : Наук. думка. 1980. 188с.
120. Бураковски Т., Сенаторки Я., Тацитовски Я. Трибологические свойства диффузионных слоёв на сталях. Трение, износ и смазочные материалы. Труды межд. научн. конф. 1985. Том 1. С. 288–294.
121. Лыгденов Б. Д., Гурьев А. М., Мосоров В. И., Бутуханов В. А. Перспективные диффузионные покрытия. *Международный журнал экспериментального образования*. 2015. № 12–4. С. 573–573.

122. Файншмидт Е. М. Теория и практика термической обработки в кипящем слое изделий из металлов и сплавов. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2005. №3. С. 4–19.
123. Алиев А. А., Ампилогов А. Ю., Алиев Ак. А. Цементация и нитроцементация автотракторных деталей в кипящем слое. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2009. № 4. С. 31–33.
124. Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка сплавов в активных газовых средах. *Вестник машиностроения*, 1986, № 9. С. 49–53.
125. Домбровский Ю. М., Степанов М. С. Новые аспекты химико-термической обработки металлов в порошковых средах. *Вестник ДГТУ*. 2011. Т. 11. № 8(59). Вып. 1. С. 1217–1221.
126. Pye D. Practical nitriding and ferritic nitrocarburizing. *Materials Park*, ОН : ASM International, 2003. 260 p.
127. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Кольцов В.Е., Бойназаров У.Р. Влияние предварительного оксидирования на процесс кратковременного азотирования. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 1993, № 3. С.31–33.
128. Лахтин Ю.М. Оксизазотирование (нитрооксидирование). *Металловедение и термическая обработка металлов*, 1994, № 9. С. 2–5.
129. Almeida E. A. S., Costa C. E., Milan J. C. G. Study of the nitrated layer obtained by different nitriding methods. *Materia*.Rio De Janeiro. 2015. Vol. 20, № 2. P. 460–465.
130. Куликов А.И. Фосфатоцементация металлов и сплавов. *Вестник машиностроения*, 2001, № 2. С 40–42.
131. Куликов А.И. Самосмазывающиеся и самоупрочняющиеся кольца. *Автомобильная промышленность*, 1990, №9. С.11–12.
132. Куликов А., Ильин А. Пассивирование поршневых колец. *Автомобильный транспорт*, 1991, №9. С.48–49.

133. Куликов А.И. Пассивирование деталей ДВС. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*, 2000, №2. С.28-30.
134. Гладкова Е.Н. Теоретические основы и технология паротермического оксидирования. Изд. Саратовского политехнического института, 1973. 98 с.
135. Файншмидт Е.М., Баскаков А.П., Пумпянская Т.А., Зыряков В.Г. Скоростное парооксидирование спеченных сталей. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2001, № 4. С.40.
136. Фролов Е.А., Комарова А.Л., Мартыненко Л.Г. Усовершенствование технологического процесса паротермического оксидирования. *Авиационно-космическая техника и технология*, № 3 Харків : Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського Харківський авіаційний інститут, 2007. С. 52–55.
137. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В. Комплексні дослідження при розробці технологічного процесу підвищення експлуатаційних властивостей деталей масляного шестеренного насосу. „*Інтелектуальні транспортні технології*” Матеріали І-ї міжнародної науково-технічної конференції (24-30 січня 2020р. Трускавець-Харків) Харків : УкрДУЗТ. 2020. С.116 – 117.
138. Thelning K. E. Steel and its heat treatment // Butterworth-Heinemann, 2013. 678 p.
139. ГОСТ 3443-87 Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры. М. : Издательство стандартов, Стандартиформ, Дата введения 01.07.88. 2005. 43 с. Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200011563>
140. ДСТУ 7806:2015 Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ». Чинний від 2016-04-01. 2016. 53с.

141. ДСТУ 8833:2019 Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом Загальні технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ». Чинний від 2020–01–01. 2019. 7с.
142. Волошина Л.В. Удосконалення технологічного процесу нанесення зносостійких шарів на поверхні пар тертя. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ: Довговічність, надійність, працездатність деталей рухомого складу залізниць та спеціальної залізничної техніки*. Харків : УкрДАЗТ. 2004. Випуск 61. С.100 – 105.
143. Тимофеева Л. А. Научные и практические основы экологически чистой химико-термической обработки железоуглеродистых сплавов с использованием водных растворов солей : автореф. дис. д-ра.техн.наук:05.16.01. Киев : ИПМ. 1992. 29с.
144. Timofeeva L.A., Solntsev L.A. Improvement of the ferro-carbon alloys oxyalloying process. *Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov*, 1997, (2), Pp. 116–117.
145. Тимофеева Л.А., Проскурина Л.В., Остапчук В.Н., Тимофеев С.С. Управление условиями антифрикционности узлов трения. *Журнал: Тяжелое машиностроение*, 2002. №3. С.27 – 28.
146. Тимофеева Л.А., Проскурина Л.В., Тимофеев С.С. Повышение эксплуатационных характеристик деталей масляного насоса двигателя СМД60. *Збірник наукових праць НТУ «ХП»*. Високі технології в машинобудуванні. Харків: НТУ «ХП». 2001. №1(4). С. 263 – 265.
147. Жученко В.В., Овчаров В.П. Яковлев Ф.И., Тимофеева Л.А. А.с.№1340217А1 „Печь для паротермического оксидирования деталей”, С23С8/16, F27В5/04, Опубл. 22.02.85.
148. Кіндрачук М. В., Лабунець В. Ф., Пашенко М. І., Корбут Є. В. Трибологія. К. : Вид-во НАУ, 2009. 392 с.

149. Справочник по триботехнике/ Под общ. Ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. Т 1.Теоретические основы. М. : Машиностроение, 1989. 400с.
150. Гаркунов Д.Н. Триботехника: Учебник для студентов вузов., М. : Машиностроение, 1989. 328с.
151. Комбалов В.С. Оценка триботехнических свойств контактирующих поверхностей. М. : Наука. 1983. 136с.
152. Ясь Д.С., Подмоков В.Б., Дяденко Н.С. Испытания на трение и износ. Методы и оборудование. К. : «Техніка», 1971, 140с.
153. Жуковец И.И. Механические испытания металлов: Учеб. Для сред. ПТУ. – 2-е изд., перераб и доп. М. : Высш. Шк., 1986. 199с.
154. Гриб В.В., Лазарев Г.Е. Лабораторные испытания материалов на трение и износ. М. : Наука, 1968. 141с.
155. Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость : ГОСТ 30480-97. М. : Издательство стандартов. 1998. 15с.
156. Обеспечение износостойкости изделий. Методы подтверждения износостойкости. Общие требования : ГОСТ 23.225-99. Действующий от 01.07.2000. М. : Стандартиформ, 1999. 22с.
157. Когаев, В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин, М. : Высшая школа, 1991. 320с.
158. Тарасов В.В. Нові способи визначення зносостійкості покриттів. Тертя і знос. 1993. Т.14. №6. С.1087-1091.
159. Беркович И.И., Громаковский Д.Г. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения: Учебник для вузов/ Под ред. Д.Г. Громаковского. Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2000. 268 с.
160. Материалы конструкционные и смазочные. Методы экспериментальной оценки коэффициента трения: ГОСТ 27640-88. [Действующий от 1989-01-01]. М.: Изд. ст-ов. 1988. 22 с.

161. Приходько В. М., Петрова Л. Г., Чудина О. В. Металлофизические основы упрочняющих технологий: монография. М. : Машиностроение, 2003. 384 с.
162. Тушинский Л.И., Плохов А.В., Токарев О.А., Синдеев В.И. Методы исследований материалов: структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий М. : Мир, 2004. 384 с.
163. Избранные методы исследования в металловедении/ Под ред. Хунгера Г.-Й: Пер. с нем. М. : Металлургия, 1985, 416 с.
164. Жигунов К. В. Влияние состояния поверхностного слоя материалов на процессы насыщения при химико-термической обработке. *Машиностроитель*. 2004. № 2. С. 41-43.
165. Жигунов К.В. Общие закономерности процессов диффузионного насыщения при химико-термической обработке. *Машиностроитель*. 2004. №1. С.26-27.
166. Вашуль Х. Практическая металлография. Методы изготовления образцов., пер. с нем. М. : Металлургия. 1988. 320с.
167. Ревенко А.Г. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ природных материалов. Новосибирск : В.О. «Наука». Сибирская издательская фирма, 1994. 264 с.
168. Лосев Н.Ф., Смагунова А.Н. Основы рентгеноспектрального флуоресцентного анализа. М. : Химия, 1982. 282 с.
169. Миркин Л.И. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов. Справочник. Москва: Машиностроение, 1979. 134 с
170. Баранова Л.В., Демина Э.Л. Металлографическое травление метал-лов и : справ. изд. М. : Металлургия, 1986. 256 с
171. Беккерт М., Клемм Х. Способы металлографического травления : справочник ; пер. с нем. Н.И. Туркиной, Е.Я. Капуткина ; под ред. И.Н. Фридляндера и др. М. : Металлургия, 1988. 399 с

172. Богомолова Н. А. Практическая металлография: Учеб. для сред. ПТУ - 3-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк., 1987. 240 с
173. Коваленко В. С. Металлографические реактивы. Справ. Изд. – 3-е изд., перераб. и доп. М. : Metallurgia, 1981. 120 с.
174. Antczak G., Ehrlich G. Surface diffusion: metals, metal atoms, and clusters. Cambridge University Press, 2010. 757 p.
175. Горбунов Н.С. Диффузионные покрытия на железе и стали. М. : Изд.-во академии наук СССР, 1958, 208с.
176. Shewmon P. Diffusion in solids. Springer, 2016. 245 p.
177. Кузнецов В.Д., Пащенко В.М. Фізико – хімічні основи створення покриттів: Навчальний посібник. К. : НМЦВО, 1999. 176 с.
178. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. Інженерія поверхні. К. : НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2007. 558с.
179. Кузнецов В.Д., Пащенко В.Д., Ющенко К.А., Борисов Ю.С. Фізико – хімічні основи інженерії поверхні: Навчальний посібник. К. : ВІПОЛ, 2005. 372с.
180. Сидоренко С.И., Пащенко В.Н., Кузнецов В.Д. Матеріалознавчі основи інженерії поверхні. К. : Видавництво «Наукова думка», 2001. 230с.
181. Дроздов Ю. Н., Усов С. В. Использование комбинированных технологических методов для повышения износостойкости деталей машин. Вестн. машиностр. 1985. №10. С. 9–11
182. Мерер Х. Диффузия в твердых телах. Пер. с англ. – Москва : Интеллект, 2011. 536 с.
183. Бокштейн Б. С. Диффузия в металлах: учеб. Пособие. Москва : Metallurgia, 1978. 248 с
184. Лариков Л. Н., Исайчев В. И. Диффузия в металлах и сплавах: справочник. Киев : Наукова думка, 1987. 510 с.

185. Фирстов С. А., Саржан Г. Ф. О температурной зависимости коэффициента диффузии. *Электронная микроскопия и прочность материалов*: Сб. науч. тр. К. : ПИМ НАН України, 2014. Вип.20. С. 71–75.
186. Огнеупорные изделия, материалы и сырье : справочник / Под ред. д.т.н. проф. Каркалита А.К., М. : Металлургия, 1991. 415с.
187. Стецько А. Зміцнення деталей машин комплексним методом. *Комп'ютерні технології друкарства*. 2015. № 33. С. 125–130.
188. Лавров А.В., Гундарина З.И. Поведение твердых растворов алюмохромофосфатного связующего при термообработке. *Изв. АН СССР. Сер. Неорганич. материалы*. 1978, т.13, №11, с.2085 – 2089.
189. Проскурина Л.В., Тимофеева Л.А. Повышение работоспособности масляных шестеренных насосов тракторных дизелів. *Инженерия поверхности и ренновация изделий. Материалы 1-й Международной научно-технической конференции* (г.Феодосия, 29-31 мая 2001г). Киев. 2001. с.152 – 153.
190. Проскурина Л.В. Влияние технологических параметров химико-термической обработки на износостойкость пары трения шестерня - корпус масляного насоса. *Современные проблемы подготовки производства, обработки и сборки в машиностроении и приборостроении. Материалы 3-го Международного научно-технического семинара* (27-29 февраля 2003г., г.Свалява, Карпаты). Киев. 2003. С.126 – 128.
191. Проскурина Л.В., Тимофеева Л.А. Повышение надежности работы масляных шестеренных насосов. *Инженерия поверхности и ренновация изделий. Материалы 3-й Международной научно-технической конференции* (27-29 мая 2003г., г.Ялта). Киев. 2003. С.201 – 202.
192. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В. Підвищення зносостійкості пар тертя нанесенням покриттів із водних розчинів солей. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*, Харків : УкрДАЗТ. 2011. Випуск 127. С.131 – 136.

193. Штерензон В. А. Моделирование технологических процессов. Екатеринбург : Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2010. 66 с.
194. Мамонова М. В., Прудников В. В., Прудникова И. А. Физика поверхности. Теоретические методы и модели и экспериментальные методы. М. : Физматлит. 2011. 400 с.
195. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ : 3-е изд. перераб. и доп. Москва: Вильямс, 2007. 912с.
196. S. Ananth, J. Udaya Prakash, T. V. Moorthy, P. Hariharan. Optimization of Wear Parameters for Grey Cast Iron under Different Conditions using Grey Relational Analysis. *Materials Today: Proceedings*, 2018. Vol. 5, Iss. 2, Part 2. P. 7346-7354.
197. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В. Визначення технологічних параметрів процесу обробки в залежності від експлуатаційних властивостей покриття. *Вісник НТУ «ХП»*. Серія нові рішення в сучасних технологіях. Харків : НТУ «ХП». 2012. №66. С. 20 – 23.
198. Волошина Л.В. Визначення та оптимізація параметрів нової технології залежно від заданих властивостей покриття. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*, Харків : УкрДАЗТ. 2012. Випуск 134. С. 224 – 229.
199. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В., Гордієнко П.М. Аналіз технологічних параметрів процесу нанесення зносостійкого покриття. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*, Харків : УкрДУЗТ. 2017. Випуск 170. С.13 – 19. (*НБД Index Copernicus*).
200. Глинка Н. Л. Общая химия. 30-е изд. М. : Интеграл-Пресс, 2003. 728 с.
201. Волошина Л. В. Результати металографічного дослідження покриття із водного розчину алюмохромфосфатної солі. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» Тези доповідей 79-тої міжнародної науково-технічної конференції.(Харків, 25-27 квіт.

- 2017р.) Збірник наукових праць УкрДУЗТ. Харків : УкрДУЗТ, 2017, Вип. 169 (додаток), С. 138 – 140.
202. Тимофеев С.С., Волошина Л.В., Воскобойников Д.Г. Формування покриттів багатофункціонального призначення. *Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Материалы 19-го Международного научно-технического семинара, (18–22 февраля 2019г., г. Кошице, Slovak Republic)*. Киев : АТМ України, 2019. С. 208 – 210.
203. Сторожук Н. В., Гусак А. М. Конкуренция эффектов Френкеля и Киркендалла при взаимной диффузии. *Металлофизика и новейшие технологии*. 2014. Т. 36, № 3. С. 367—374.
204. Волошина Л. В. Ресурсозберігаюча технологія нанесення покриттів. *«Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. Тези доповідей 75-ї міжнародної науково-технічної конференції. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. Харків : УкрДАЗТ, 2013, Вип. 136, С. 349.
205. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В. Підвищення якості пар тертя нанесенням зносостійких покриттів. *Качество, стандартизация, контроль: теория и практика*. Материалы 11-й Международной научно-практической конференции (27-29 сентября 2011г., г.Ялта, Крым). Киев. 2011. С.151 – 153.
206. Волошина Л. В. До питання дослідження впливу складу покриття на триботехнічні властивості залізвуглецевих сплавів. *«Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. Тези доповідей 80-ї міжнародної науково-технічної конференції. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. Харків : УкрДУЗТ, 2018, Вип. 177, С. 93.
207. Кононюк А. Е. Основы научных исследований (Общая теория эксперимента) в 4-х кн. К.2. К. : 2011. 452с.

208. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В. Підвищення якості, працездатності масляних шестеренних насосів ДВС. *Качество, стандартизация, контроль: теория и практика*: Материалы 18-й Международной научно-практической конференции (03–07 сентября 2018 г., г. Одесса), Киев : АТМ України, 2018. С.108 – 110.
209. Волошина Л.В. Ресурсозберігаюча технологія формування зносостійких покриттів на деталях рухомого складу. „*Вагони нового покоління: із ХХ в ХХІ сторіччя*” Тези доповідей II-ї Всеукраїнської конференції. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. Харків : УкрДУЗТ, 2019, Вип. 184(додаток), С. 42 – 43.
210. Венцель Є.С., Жалкін С.Г., Кравець А.М., Садієв С.А. Підвищення протизношувальних властивостей дизельного палива гідродинамічним диспергуванням. *Підвищення ефективності технології і техніки для виконання вантажно – розвантажувальних, будівельних та колійних робіт на залізничному транспорті*: Зб. наук. праць. Харків : УкрДАЗТ, 2002. Вип. 50. С. 88–94.
211. Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н. Трение и износ в экстремальных условиях: Справочник. М. : Машиностроение, 1986. 224с.
212. Чумаков П.В., Мартынов А.В., Коломейченко А.В. Оценка технического состояния круглых шестеренных гидронасосов навесных гидросистем тракторов – DOI 10.15507/2658-4123.030.202003.426-447. *Инженерные технологии и системы*. 2020. Т. 30, № 3. С. 426–447.
213. Кулешков Ю.В., Матвієнко О.О., Руденко Т.В. Методика стендових випробувань шестеренного насоса. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація»*. Кіровоград, КНТУ 2011. № 24 (ч.ІІ). С. 97–110.

214. Спосіб хіміко-термічної обробки деталей із металів та сплавів /Тимофєєва Л.А., Проскуріна Л.В., Тимофєєв С.С., Федченко І.І. Патент України на винахід №45841А: В22F3/24.. Заявник та патентовласник УкрДАЗТ. №2001075170; заявл.19.07.2001; опубл. 15.04.2002, Бюл.№4.
215. Комарова Г.Л., Волошина Л.В. Вплив параметрів обробки на якість формування захисних покриттів. *"Інженерія поверхні і реновація виробів"* Матеріали 19-ї міжнародної науково-технічної конференції (20-24 травня 2019р., м. Свалява, Закарпатська обл.) Київ : АТМ України, 2019, С. 75 – 77.
216. Тимофєєва Л.А., Устенко О.В., Цап О.І., Волошина Л.В. Підвищення експлуатаційних показників фрикційних клинів шляхом формування покриттів зі спеціальними властивостями. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*, Харків : УкрДУЗТ. 2019. Випуск 185. с.88-95. (НБД Index Copernicus)
217. Балака Е.И., Бойко И.Г., Дикань В.Л., Ковалев Д.И. Оценка экономической эффективности инвестиций в мероприятия научно – технического прогресса: Учебно-методическое пособие / Под ред. В.Л. Диканя. Харьков : Основа, 1995. 76 с.