

УКРАИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

**Федченко Ирина Ивановна**

УДК 629.4.027.4

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ЦЕЛЬНОКАТАНЫХ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА  
ХРОМОФОСФАТИРОВАНИЕМ**

05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель

Остапчук Виктор Николаевич

кандидат технических наук

доцент

Харьков -2010

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1 Состояние вопроса и задачи исследования.....	11
1.1 Условия работы пары трения «колесо-рельс» и требования, предъявляемые к ним. Причины выхода из строя .....	11
1.2 Существующие методы повышения износостойкости колес цельнокатаных подвижного состава.....	26
1.3 Существующие методы нанесения износостойких покрытий на цельнокатаные колеса. Цели и задачи исследований.....	32
ВЫВОДЫ.....	44
РАЗДЕЛ 2 Материалы и методики исследования при изготовлении колес цельнокатаных подвижного состава.....	45
2.1 Материалы, применяемые для изготовления колес цельнокатаных и технология их изготовления.....	45
2.2 Методика определения триботехнических свойств.....	68
2.3 Металлографический анализ.....	73
2.4 Методика определения элементного состава поверхностного слоя.....	75
2.5 Методика определения фазового состава поверхности .....	77
2.6 Методика определения толщины покрытий.....	79
2.7 Выбор способа нанесения покрытия.....	80
ВЫВОДЫ.....	85

РАЗДЕЛ 3 Формирование модели по повышению износостойкости колес цельнокатаных подвижного состава.....	86
3.1 Выбор рациональных параметров нового технологического процесса .....	86
3.2. Разработка оптимальных параметров нанесения покрытия.....	91
3.2.1 Регрессионный анализ влияния параметров хромофосфатирования на прочностные свойства покрытия.....	94
3.2.2 Определение параметров хромофосфатирования в зависимости от желаемых свойств покрытия.....	100
3.3 Разработка оборудования и методика нанесения покрытий на поверхность катания цельнокатаных колес.....	109
3.4 Выбор насыщающей среды на основе водных растворов солей.....	118
ВЫВОДЫ.....	134
РАЗДЕЛ 4 Исследование поверхности колес цельнокатаных с хромофосфатным покрытием.....	135
4.1 Результаты лабораторных исследований .....	135
4.1.1 Задиростойкость .....	137
4.1.2 Значение коэффициента трения .....	138
4.1.3 Износостойкость.....	139
4.1.4 Прирабатываемость.....	140
4.1.5 Прочность поверхностного слоя на колесах цельнокатаных...	142
4.1.6 Микроструктура и фазовый состав поверхности.....	144

	4
ВЫВОДЫ.....	153
РАЗДЕЛ 5 Промышленные испытания и практическое использование результатов исследований.....	154
5.1 Экономическая эффективность применения полученных результатов.....	154
5.2 Экономическая целесообразность применения новой технологии.....	159
ВЫВОДЫ.....	164
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	165
СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	167
Приложение.....	184

## ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный транспорт является одной из ведущих отраслей промышленности Украины, он играет важнейшую роль в грузовых и пассажирских перевозках. Общей тенденцией развития железнодорожного транспорта является повышение требований до технического уровня и качества подвижного состава и его составляющих. Одно из этих требований – безопасность пассажирских и грузовых перевозок, которые значительно зависят от надежности подвижного состава в условиях интенсивной эксплуатации.

Одной из научно-прикладных задач, связанных с проблемой контакта колеса с рельсом, как в Украине, так и за рубежом - снижение интенсивности изнашивания гребней колес цельнокатаных подвижного состава. Решение этих задач невозможно без создания для вагонов и локомотивов надежных узлов и деталей, имеющих достаточную работоспособность и износостойкость. В то же время износостойкость значительного числа деталей определяется длительностью одного лишь межремонтного пробега.

К таким деталям относятся колесные пары, в частности колеса цельнокатаные.

Износостойкость цельнокатаных колес во многом зависит от качества рабочих поверхностей, которые формируются в процессе их изготовления. Особенное значение для цельнокатаных колес имеет технология термической обработки (закалка, средний отпуск), которая обеспечивает необходимые эксплуатационные свойства (износостойкость, долговечность). Однако данная технология недостаточно обеспечивает стабильную работу колес цельнокатаных от начала их эксплуатации к заданному пробегу, а существующие методы повышения колес

цельнокатаных не обеспечивают их стабильную работу, а также не устраняют причину их преждевременного выхода из строя.

Увеличить срок службы колес цельнокатаных возможно путем создания на их рабочей поверхности слоев обеспечивающих заданную работоспособность и износостойкость. Однако в настоящее время такого способа не существует. Попытка применить смазку лубрикаторы (гребнесмазыватели) для повышения работоспособности и износостойкости колес цельнокатаных положительных результатов не дали.

Поэтому усовершенствование технологии изготовления колес цельнокатаных, которое способствует повышению износостойкости, и как следствие долговечности является актуальным научным заданием, которое имеет важное практическое значение. Дана диссертационная работа, направленная на решение этого актуального задания.

#### **Связь работы с научными программами, планами, темами.**

Исследование за темой диссертационной работы выполнялось в рамках госбюджетных научных тем кафедры "Материалы и технология изготовления изделий транспортного назначения" Украинской государственной академии железнодорожного транспорта. Работа выполнялась по приоритетному направлению развития науки и техники "Новейшие технологии и ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте" в рамках госбюджетных тем Министерства образования и науки Украины «Разработка и внедрение технологий восстановления изношенных деталей подвижного состава» (ДРН<sup>№</sup>0107U008937 2007-2009 г.г.), «Проведение эксплуатационных исследований нового состава режущего инструмента для обточки колесных пар при их восстановлении» (ДРН<sup>№</sup>0108U006512 2008-2009 г.г.), «Создание технологий формирования нового материала покрытий на металлических материалах» (ДРН<sup>№</sup>010U0089372007-2009 г.г.), (ДРН<sup>№</sup>0108U006513 2008-2009г.г.), «Исследование формирования

покрытий на керамических материалах на основе оксида хрома влияние их на физико-механические свойства материалов» (ДР№ 0203U002672 2000-2003 г.г.).

**Цель работы** – уменьшение износа колес цельнокатаных путем совершенствования технологии их изготовления

Для достижения поставленной цели в работе необходимо было решить следующие задания:

- определить основные причины выхода из строя колес цельнокатаных подвижного состава и пути их;
- выполнить анализ существующих технологий изготовления колес цельнокатаных подвижного состава и разработать мероприятия по их усовершенствованию;
- разработать модель, которая формализует процесс повышения износостойкости цельнокатаных колес подвижного состава железных дорог;
- усовершенствовать технологию изготовления колес цельнокатаных подвижного состава железных дорог
- определить влияние параметров технологического процесса на износостойкость и долговечность колес, и их рациональные значения;
- провести комплекс лабораторных и производственных сравнительных испытаний колес цельнокатаных, которые изготовлены по существующей технологии и с обработкой путем хромофосфатирования.
- выполнить экономическую оценку изготовления колес по новой технологии

**Объект исследования** процесс увеличения износостойкости и долговечности цельнокатаных колес подвижного состава железных дорог

**Предмет исследования.** Цельнокатаные колеса подвижного состава железных дорог.

**Методы исследования.** В теоретической части работы

использованы теория термической обработки и металлографические методы. В экспериментальной части для обработки результатов испытаний использованы методы теории вероятностей, математической статистики и математического планирования экспериментов, и регрессионный анализ

### **Научная новизна полученных результатов.**

Решено научно-практическое задание для улучшения технологии изготовления колес цельнокатанных подвижного состава за счет усовершенствования технологии их изготовления. Автором лично предложены следующие научные решения:

#### *Впервые:*

- установлено влияние дополнительного процесса хромофосфатирования на износостойкость и, как следствие, долговечность цельнокатанных колес подвижного состава железных дорог;
- формализована модель, которая воспроизводит влияние процесса хромофосфатирования на величину изнашивания цельнокатанных колес подвижного состава железных дорог;
- получены рациональные параметры технологии хромофосфатирования, что обеспечивают увеличение долговечности колес цельнокатанных подвижного состава;
- получена взаимосвязь между составом материала покрытия и его эксплуатационными свойствами, что позволяет влиять на износостойкость и работоспособность колес цельнокатанных

#### *Доработано:*

- оптимальные условия хромофосфатирования для получения покрытия с заданными свойствами на колесах цельнокатанных подвижного состава и обоснованием выбора их структуры;
- технологию изготовления колес цельнокатанных подвижного состава железных дорог за счет введения дополнительного процесса хромофосфатирования, что обеспечивает повышение их износостойкости.

### **Практическое значение полученных результатов.**

На основе результатов проведенных экспериментальных исследований при изготовлении колес цельнокатанных подвижного состава предложена новая технология хромофосфатирования. Разработанные рекомендации применения новой технологии изготовления колес цельнокатанных дали возможность больше чем у 1,5 раза увеличить их износостойкость и эксплуатационные свойства и как следствие, повысить межремонтный пробег вагонов. Использование результатов работы подтверждаются соответствующими актами внедрения.

На основе результатов проведенных исследований и особенностей формирования структуры и свойств нового покрытия предложен способ нанесения покрытий для колес цельнокатанных (патент Украины №117203 А на изобретение “Способ поверхностного упрочнения”, патент Украины №87796 на изобретение “Способ поверхностного упрочнения колес цельнокатанных”). Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе при изучении курса “Материаловедение”.

### **Личный вклад диссертанта.**

Основные теоретические и экспериментальные результаты исследований, изложенные в диссертации, полученные лично автором. В публикациях в соавторстве автору принадлежат:

- сформулирована научно-прикладная задача, поставленная цель научных исследований, определения путей решения задания, обоснование методов экспериментальных исследований ;
- выполнение исследования причин, характера и установления величины изнашивания колес цельнокатанных; получение данных о влиянии покрытия на эксплуатационные свойства колес цельнокатанных;
- проведения экспериментальных исследований, которые позволяют установить оптимальные технологические параметры формирования хромофосфатного покрытия;

- проведение исследования триботехнических свойств и установления связи между структурой покрытия и износостойкостью и значением коэффициента трения
- предложение нового способа комплексной обработки для повышения физико-механических и эксплуатационных свойств колес цельнокатаных.

**Апробация результатов диссертации** Основные положения и результаты диссертации были доложены и обсуждались на международных научно-технических конференциях и семинарах: - «Современные проблемы подготовки производства, обработки и сборки в машиностроении и приборостроении» (25-27 февраля 2003 года, г. Свалява, Карпаты, 22-24 февраля 2005 года, г. Свалява, Карпаты, 26-28 февраля 2007 года Свалява, Карпаты); - «Инженерия поверхности и реновация изделий» (27-29 мая 2003 года, г. Ялта; 25-27 мая 2004 года, г. Киев, 30 мая – 1 июня 2006, г. Ялта, 27-30 мая 2007, г. Ялта); «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика», сентябрь 2008, Ялта.

Основные положения диссертации докладывались на кафедре с 2003 по 2009р., в полном объеме диссертационная работа докладывалась в 2009 г. на расширенном заседании кафедры "Материалы и технология изготовления изделий транспортного назначения" Украинской государственной академии железнодорожного транспорта при участии членов специализированного ученого совета Д64.820.04.

**Публикации результатов исследований.** По теме исследования опубликовано 13 научных трудов, в том числе 4 статьи напечатано в специализированных изданиях, которые входят в перечень ВАК Украины, и два декларационных патента Украины, а также в 7 тезисах докладов на конференциях.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вагонное хозяйство: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / П.А. Устич, И.И. Хаба, В.А. Ивашов и др.; Под ред. П.А. Устича. – М.: Маршрут, 2003.
2. Вагоны: Учебник для вузов ж.-д. Трансп./Л.А. Шадур, И.И. Челноков, Л.И. Никольский и др.; Под ред. Л.А. Шадура. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980.
3. Балановский А.Е. Триботехнические свойства упрочненных гребней колесных пар// Железнодорожный транспорт – 2006 - №4 – С. 53-55.
4. Сокол Э.Н. Механизм образования разности диаметров колес колесных пар// Залізничний транспорт України – 2004 - №4 с. 8-9.
5. Феоктистов В.П. Усталостные повреждения колесных пар// Железнодорожный транспорт за рубежом. Серия Подвижной состав, Локомотивы и вагонное хозяйство: ЭИ/ЦНИИТЭИ – 2004. – Вып.4. – с.22-24; с.15-22; с.14-13.
6. Лашко А.Д. Технічне регулювання на залізничному транспорті// Залізничний транспорт України – 2006 - №1 с.3-6.
7. Авдеев В.Н. Технология и выбор способа материалопокрытия. – Ташкент: Мехнат, 1990. – 272 с.
8. ГОСТ 9036-88. Колеса цельнокатанные.
9. Анализ защитных свойств и низкотемпературных эффектов внутреннего трения газотермических композиционных покрытий в водороде /В.И. Копылов, И.А. Варвус, Б.Г. Стронгин и др. // ФХММ. – 1993. - №5. – С. 25-35.
10. Анализ состояния, тенденции развития и рекомендации по применению упрочняющих защитных покрытий при изготовлении и ремонте машин лёгкой промышленности / Б.А. Ляшенко, Н.А.

- Зенкин, Б.Ф. Пипа и др. – К.: ГАЛПУ, 1994. – 39 с. – Деп. В ГНТБ Украины 15.12.94, №2472 – Ук94.
11. Андрейкив А.В., Чернец М.В. Оценка контактного взаимодействия трущихся деталей машин. – К.: Наук. Думка, 1991. – 160 с.
  12. Антошин Е.В. Газотермическое напыление покрытий. – М.: Машиностроение, 1974. – 96 с.
  13. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой. – Л.: Машиностроение, 1979. – 224 с.
  14. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 184 с.
  15. Бегаоев Е.М. Технологические напряжения в покрытиях. – М.: Металлургия, 1976. – 231 с.
  16. Белый А.Б., Карпенко Г.Д., Мышкин Н.К. Структура и методы формирования износостойких слоёв. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.
  17. Белый В.А., Свириденюк А.И. Актуальные направления развития исследований в области трения и изнашивания // Трение и износ. – 1987. – Т.8. - №1. – С. 5-24.
  18. Биргер И.А., Шор Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчёт на прочность деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
  19. Бородин И.Н. Упрочнение деталей композиционными покрытиями. – М.: Машиностроение, 1982. – 141 с.
  20. Бутенко О.М., Головнигер Я.Т., Скотников С.А. Формирование диффузионного слоя при ионном азотировании // Прогрессивные методы термической и химико-термической обработки. – М.: Машиностроение. 1972. – С. 122-128
  21. Верхотуров А.Д., Муха И.П. Технология электроискрового легирования металлических поверхностей. – К.: Техніка, 1982. – 181 с.

22. Високоєфективна технологія зміцнення поверхні конструктивних елементів / В. Каплун, І. Пастух, Л. Сіліна, П. Каплун, М. Зенкін // Інформатизація та нові технології. – 1995. – №2. – С. 26-27.
23. Власов В.М. Работоспособность упрочнённых трущихся поверхностей. – М.: Машиностроение, 1987. – 304 с.
24. Влияние диффузионных покрытий на прочность стальных изделий / Г.В. Карпенко, В.И. Похмурский, В.Б. Далисов и др. – К.: Наук. Думка, 1971. – 168 с.
25. Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Методы поверхностной обработки. – М.: Высш. Школа, 1987. – 215 с.
26. Дроздов Ю.Н. К разработке методики расчёта на изнашивание и моделирование трения // Износостойкость: Сб. – М.: Наука, 1975. – С. 120-135.
27. Евдокимов Ю.А., Колесников В.И., Тетерин А.И. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. – М.: Наука, 1980. – 228 с.
28. Зенкин Н.А. Оценка износостойкости поверхностных упрочняющих покрытий деталей, испытывающих сложные нагрузки // Технология металлов. – 1999. - №5. – С. 36-38.
29. Зенкин Н.А. Куроптева Е.О. Методология выбора упрочняющих покрытий ответственных деталей машиностроения / Механіка та машинобудування. – 2002. - №1. – С. 184-191.
30. Материалы для узлов сухого трения, работающих в вакууме: Справочник / Н.А. Цеев, В.В. Козелкин, А.А. Туров и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 192 с.
31. Лазарев В.В. Химические и физические свойства простых оксидов металлов, 1983. – С. 25-38.
32. Оценка износостойкости материалов на машине трения с возвратно-поступательным движением // Трение и износ в машинах / Тр. ХУМ: АН СССР, 1982. – С. 111-116.

- 33.Бородин И.Н. Упрочнение деталей композиционными покрытиями. – М.: Машиностроение, 1982. 141 с.
- 34.Технология термической обработки в машиностроении: Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.
- 35.Иванов В.А., Вашкович В.В. Композиционные антифрикционные материалы и покрытия. – Хабаровск: ХПИ, 1981. – 104 с.
- 36.Александровская Л.Н., Афанасьев А.П., Лисов А.А. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем: Учебник. – М.: Логос, 2003. – 208 с.
- 37.Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. Математические методы в теории надежности. Главная редакция физико-математической литературы. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
- 38.Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики – М.: Наука, 1968. – 473 с.
- 39.Борзилов І.Д. Технологія технічного обслуговування та ремонту вагонів: Підручник для вищих навчальних закладів. В 3-х томах. Т.І. – Харків: РВВ УкрДАЗТ, 2003. – 246 с.
- 40.Солнцев Л.А. Пути повышения качества защитных покрытий на изделиях из стали и чугуна // Технология и организация производства, 1990. №2. – С. 12-14.
- 41.Толок В.Т., Падалка В.Г. Разработка и внедрение новых методов вакуум-плазменной технологии высоких энергий // Изв. АН СССР. – 1972. – №4. – С. 40-41.
- 42.Синельников А.К., Гаврилов А.Г. Вакуумное нанесение износостойкого покрытия на режущий инструмент // Технологическая конструкция . – М.: Наука, 1983.
- 43.Методы повышения долговечности деталей машин / В.Н. Ткачѐв, Б.М. Фиштейн, В.Д. Власенко и др. – М.: Машгиз, 1971. – 273 с.

- 44.Харченко А.С., Лютович О.М. Влияние примеси фосфора на кинетику роста эпитаксиальных слоёв. – Ташкент. ФИНТ, 1970. – С. 41-43.
- 45.Зенкін М.А., Єрмолаєв В.В., Шишаки Моамун Бено. Моделювання технологічного процесу детонаційного нанесення покриттів // Вісник технологіч. ун-ту. – Поділля, 2000. – №3. – С. 45-49.
- 46.Костецкий Б.И. Задачи трибологии в машиностроении // Вестник машиностроения. – 1989. - №9. – С. 9-15.
- 47.Костецкий Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении. – К.: Техніка, 1976. – 292 с.
- 48.Котов О.К. Поверхностное упрочнение деталей машин химико-термическими методами. – 3-е изд. Перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1969. – 344 с.
- 49.Крагельский И.В., Мухин Н.М. Узлы трения машин: Справоч. – М.: Машиностроение. 1984. – 280 с.
- 50.Кривов Г.А. Технология самолётостроительного производства. – К.: КВІЦ, 1997. – 460 с.
- 51.Кузнецов В.Д., Пащенко В.М. Фізико-хімічні основи створення покриттів: Навч. посібник. – К.: НМЦ ВО, 1999. – 176 с.
- 52.Кузнецов І.Б., Зенкін М.А., Маамун Бакір Шишані. Методика та апаратурне забезпечення оцінки якості високонавантажених деталей і вузлів виробів машинобудування // Експрес-новини: наука, техніка, виробництво. – 1999. - №13-14. – С. 44-47.
- 53.Лабунец В.Ф., Киндрачук М.В., Меркулов В.Н. Применение композиционных покрытий для повышения долговечности машин и инструмента. – К.: УкрНИИТИ, 1986. – 44 с.
- 54.Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1985. – 256 с.
- 55.Лахтин Ю.М.,Коган Я.Д. Структура и прочность азотированных сплавов. – М.: Металлургия, 1982. – 176 с.

56. Ляшенко Б.А., Ермолаев В.В., Мироненко В.И. Электроискровое легирование, как перспективный метод восстановления деталей авиационной техники // Материалы семинара «Технология и инструмент из СТМ в автомобильной и авиационной промышленности». – К.: ИСМ НАНУ, 1997. – С. 30-31.
57. Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов. – Т.2. Методы исследования механических свойств металлов / Под общ. Ред. А.Г. Туманова. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
58. Методы упрочнения поверхностей машиностроительных деталей / Н.В. Новиков, А.А. Бидный, Б.А. Ляшенко и др. – К.: ИСМ АН УССР, 1989. – 112 с.
59. Минкевич А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. – М.: Машиностроение, 1965. – 492 с.
60. Многофункциональное пучковое технологическое оборудование для обработки изделий / П.А. Полухин, Г.Е. Мишензников, Е.А. Борисов и др. // Конверсия в машиностроении. – 1993. – №1. – С. 14-26.
61. Молодик М.В., Зенкін М.А. Ремонт промислового обладнання: Підручн. Для учнів проф.-техн. навч. закл. освіти. – К.: Техніка, 2000. – 256 с.
62. Молодцов Н.С. Восстановление изношенных деталей судовых механизмов. – М.: Транспорт, 1988. – 177 с.
63. Молодык Н.В. Зенкин А.С. Восстановление деталей машин: Справоч. – М.: Машиностроение, 1989 – 480 с.
64. Мудрук А.С., Денисенко Н.И., Киндрачук М.В. Повышение долговечности машин и оборудования, работающих в условиях интенсивного износа. – К.: УкрНИИНТИ Госплана Украины, 1990. – 44 с.

65. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. – М.: Мир, 1980. – 610 с.
66. Карманов В.Г. Математическое программирование. – М.: Наука, 1980.
67. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) и изменения и дополнения // МПС РФ. – М., 1996. – 356 с.
68. Оценка экономической эффективности инвестиций в мероприятия научно-технического прогресса: Учебно-методическое пособие / Е.И. Балака, И.Г. Бойко, В.Л. Дикань, Д.И. Ковалев; Под ред. В.Л. Диканя. – Харьков, Основа, 1995. – 76 с.
69. Справочник по специальным функциям. Под ред. М. Абрамовица и И. Стиган. – М.: Наука, 1979. – 832 с.
70. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности, «Советское радио», 1962.
71. Петко И.В. Прогрессивные технологические способы повышения долговечности деталей машин. – К.: Техніка, 1980. – 100 с.
72. Пляскин И.И. Оптимизация технических решений в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1982. – 176 с.
73. Покрытия и обработка поверхности для защиты от коррозии и износа: Сб. статей / под ред. К.Н. Страффорда, П.К. Датты, К.Дж. Гуджена; Пер. с англ. под ред. В.В. Кудинова. – М.: Металлургия, 1991. – 238 с.
74. Поляк М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. В 2-х т. – Т.2.- М.: «Л.В.М. – СКРИПТ»; Машиностроение, 1995. – 688 с.
75. Похмурский В.И., Далисов В.В., Голубец В.М. Повышение долговечности деталей машин с помощью диффузионных покрытий. – К.: Наук. думка, 1980. – 188 с.

76. Рабинович М.Х. Прочность, температура, время. – М.: Наука, 1968. – 160 с.
77. Рыжов Э.В., Клименко С.А., Гуцаленко О.Г. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями. – К.: Наук. думка, 1994. – 180 с.
78. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Фёдоров В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 176 с.
79. Седых В.И. Восстановление и упрочнение деталей судовых технических средств (параметры материала поверхностного слоя восстанавливаемых деталей): Учеб. пособие. – Владивосток: ДВГМА, 1996 – 124 с.
80. Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин: Тематич. сб. – Новополюцк: Новополюцкий государств. ун-т, 1999. – 370 с.
81. Солоненко О.П. Диалоговый инженерный моделирующий комплекс плазматрон – струя – покрытие для оптимизации режимов напыления // Фундам. науки – нар. X-ву. – М., 1990. – С. 550.
82. Справочник технолога-машиностроителя. / Под ред А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т.2. – 496 с.
83. Старосельский А.А., Гаркунов Д.Н. Долговечность трущихся деталей машин. – М.: машиностроение. – 1967. – 395 с.
84. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение контактной жёсткости соединений. – М.: Наука, 1977. – 282 с.
85. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
86. Сухенко Ю.Г., Некоз О.Ш., Стегошин М.С. Технологічні методи забезпечення довговічності обладнання харчової промисловості. – К.: Електрон, 1993. – 108 с.

87. Трение, изнашивание и смазка Справоч. / Под. ред. И.В. Крагельского и В.В. Алименко. – М.: Машиностроение, 1982. – Т.1. – 398 с.
88. Упрочнение машиностроительных материалов: Справоч. / С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. – М.: Машиностроение, 1994. – 495 с.
89. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами / А.Г. Бойцов, В.Н. Машков, В.А. Смолянцев и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 141 с.
90. Флек Ван Л. Теоретическое и прикладное материаловедение: Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1975. – 472 с.
91. Черновал М.И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями: Уч. посібник. – К.: Вища шк., 1992. – 79 с.
92. Шевеля И.В. Влияние реологических свойств металлов и сплавов на износостойкость трибосистем: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – К.: КНИГА, 1991. – 18 с.
93. Шканов И.Н. Логинов Н.З., Ильченко А.М. и др. Исследование влияния газотермических покрытий на сопротивление усталости авиационных материалов // Оптимизация технологических процессов по критериям прочности. – Уфа: Авиационный институт, 1987. – С. 10-24.
94. Шнейдер Ю.Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства. – Л.: Машиностроение, 1972. – 240 с.
95. Bose, S., J. DeMasi-Marcin Thermal barrier coating experience in gas turbine engines at Pratt & Whitney. In Thermal Barrier Coating Workshop. NASA – CP-3312. Cleveland, Ohio. National Aeronautics and Space Administration Lewis Research Center. – 1995. – P. 63-77.
96. Cho Hideo, Ogawa Singo, Yamanaka Kazushi, Takemoto Mikio. Property evaluation of vapor deposited TiN film by the analysis of elastic. Waves.

- 1<sup>st</sup>. report. Nondestructive evaluation of elastic properties by laser surface acoustic waves // *Nihon kikai gakkai ronbunshu. A=Trans. Jap. Soc. Eng. A.* – 1997. – 63, №609. – P. 1050-1056.
97. Gróning P., Nowak S., Schlapbach L. a.o. Interface analysis of plasma – deposited titanium nitride on stainless steels // *Appl/ Surface Sci.* – 1992. – 62, №4. – S. 209-216.
98. Herr W., Matthes B., Broszeit E. a.o. Fundamental properties and wear resistance of r.f. – sputtered TiB<sub>2</sub> and Ti(B, N) coatings // *Pap. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. Plasma Surface Eng., Garmisch–Partenkichen, Sept. 10-14.* – 1990. – Pt. 2.
99. Leyendecker T., Esser S., Lemmer O. a.o. Beschichtung für höchste Ansprüche // *Produktion.* – 1996. - №15. – S. 133-134.
100. Оше Е.К., Зилина Т.Ю. Защитное термоокислирование 13-17%-ных хромистых сталей на воздухе при повышенных температурах // *Защита металлов.* – 1992. – Т. 28 №4 С. 42-48.
101. Лазарев В.Б., Соболев В.В. Химические и физические свойства простых оксидов металлов. – М.: Наука, 1983. 239 с.
102. Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1984. – 335 с.
103. Стакло В.А. Обработка инструмента в атмосфере пара // *Тр. Секции МиТОМ М.: Машпром, 1989.* – 268 с.
104. Вяткин Г.П., Ахлюстин В.А. Исследование влияния фазовых и структурных превращений в углеродистых и легированных сталях на формирование и служебные свойства оксидных покрытий // *Известия вузов. Черная металлургия.* – 1997. - №9. С. 61-64.
105. Мухамбетов Д.П., Чалая О.В. Кинетика поверхностного оксидирования на легированной электротехнической стали // *Известия вузов. Черная металлургия.* – 1998. - №5 С. 55-56.
106. Файншмидт Е.М., Басков А.П. Экологически чистый процесс скоростного оксидирования // *МиТОМ.* – 1997. - №8. С. 23-27.

107. Симон Г., Тома М. Прикладная техника обработки поверхности металлических материалов: Справочник / Пер. с нем. – Челябинск. Металлургия. – 1991. – 368 с.
108. Астроян П.П. Обработка чугуна в атмосфере пара // МиТОМ. – 1969. - №5 С. 25-27.
109. Ахлюстин В.А., Тепляков Ю.Н. Защитные свойства вюститосодержащих оксидных покрытий // Известия вузов. Черная металлургия. – 1989. - №1. – С. 155-157.
110. Шпис Х.Й. Применение новых технологий обработки поверхностного слоя для повышения эффективности защиты материалов от износа // Черные металлы: Пер. с нем. – 1997. - №6. – С. 22-29.
111. Кузнецов Г.Д. Сравнительная оценка эффективности процессов обработки покрытий // Изв. вузов. – Черная металлургия. – 1974. - №5. – 146 с.
112. Пат №25737А Україна Солнцев Л.О., Комарова Г.Л. Спосіб нанесення поверхневого шару на вироби з металів та пристрій для його здійснення. – 1998.
113. Алешкевич В.И., Гейкен В.А. Состояние и перспективы исследований по разработке, производству и эксплуатации антифрикционных и фрикционных изделий. Вып. Порошковая металлургия. Высшая школа. – 1997. – С. 137-142.
114. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами / А.Г. Бойцев, В.Н. Машков. – М.: Машиностроение. 1994. – 143 с.
115. Кольцов В.Е., Стульнина Г.С., Ларин М.П. Перспективный метод создания коррозионно-стойких и износостойких покрытий // Прогрессивные методы получения конструкционных материалов и покрытий, повышающих долговечность деталей машин. – Волгоград, 1990. – С. 58-59.

116. А.С. 1333884. С23С. 8/52 Способ химико-термической обработки изделий на основе железа. / Л.А. Солнцев и др.
117. Остапчук В.Н., Глушкова Д.Б. Расширение функциональных характеристик экологично чистых технологий // Сучасне машинобудування. – 1999. – №1. – С. 65-67.
118. Тушинский Л.И., Плохов А.В. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий. – Л.: Наука. – 1986. – 107 с.
119. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – М.: Техника, 1985. – 168 с.
120. Кукушкин О.А. Поверхность // Физка. Химия. Механика. 1999. - №4 С. 38-47.
121. Мігачові Мдо // обзор современных покрытий, 1995. – 26, №593. 9-17 (ит.).
122. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. М.: Химия, 1997. – 352 с.
123. Оценка износостойкости материалов на машине трения с возвратно-поступательным движением // Трение и износ в машинах / Тр. ХУМ: Ан СССР, 1982. – С. 111-116.
124. Материалы для узлов сухого трения работающих в вакууме: Справочник / Н.А. Цив, В.Б. Коземами, А.А. Туров. – М.: Машиностроение, 1991. – 192 с.
125. Расчёты экономической эффективности организационно-технических мероприятий в машиностроении / С.А. Чукин, А.А. Сорокин. – М.: Машиностроение, 1986. – 185 с.
126. Гладнова Е.Н. Теоретические основы и технология паротермического оксидирования. – Саратов. СГУ, 1973. – 103 с.
127. Тимофеева Л.А. Наукові та практичні основи екологічно чистої хіміко-термічної обробки залізвуглецевих сплавів із застосуванням водних розчинів солей. Автореф. д.т.наук. – Київ, 1992. – 29 с.

128. Лахтин Ю.М. Новые методы химико-термической обработки в машиностроении // Тр. МАДИ, - С.128-130.
129. Бруснецова В.Н., Крылов В.П. Исследование и разработка износостойких и прирабочных покрытий для поверхностного упрочнения // Тр. НАТИ, 1970. – Вып. 126 – С.18-24.
130. Виноградов Ю.М. Трение и износ модифицированных металлов. – М.: Наука, 1972. – 151 с.
131. Вайнштейн В.Э., Виградов Ю.М. Исследование поведения сульфидированного слоя в процессе изнашивания // Тр. конф. – М.: АН СССР, 1970. – С.36-40.
132. Криулин А.В. сульфидирование стали и чугуна. – Ленинград: Машиностроение, 1972. – 238 с.
133. Юргенсон А.А. Азотирование деталей в жидких средах // НИинформтяжмаш, 1971. - № 13-71-6. – 34 с.
134. Минкевич А.Н., Димитров М.В. Сравнительное исследование износостойкости азотированных, нитроцементованных и цианированных инструментов// Машиностроение, 1972. - № 10. – С.434-436.
135. Виноградов Р.В. Механизм противоизносного и антифрикционного действия смазочных сред при тяжелых режимах граничного трения // Природа трения твердых тел. – Минск: Наука и техника, 1971. – С.18-32.
136. А.с. № 1633884 С 23 С 8/52. Тимофеева Л.А., Солнцев Л.А. Способ химико-термической обработки изделий на основе железа, 1989. – ДСП.
137. Материалы для узлов сухого трения, работающих в вакууме: Справочник/ Цеев Н.А., Козелкин В.В., Туров А.А. и др. – М.:Машиностроение, 1991. – 192 с.
138. Костецкий Б.И. О роли кислорода при трении скольжения// Машиноведение, 1965. - №6. – С.10-12.

139. Уэллс А.А. Влияние остаточных напряжений на хрупкое разрушение. – Т. 4. Разрушение. – М.: Мир, 1977. – С.229-333.
140. Лазарев В.Б. Химические и физические свойства простых оксидов металлов, 1983. – С.25-38.
141. Колесниченко Л.Ф. О формировании граничных слоев при трении в присутствии серы// Порошковая металлургия, 1970. №12. – С. 18
142. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. М., Наука, 1977, 184 с.
143. Хасуи А., Мorigаки О. Наплавка и напыление. М., Машиностроение, 1985, 240 с.
144. Буше Н.А., Копытько В.В. Совместимость трущихся поверхностей. М., Наука, 1981, 128 с.
145. Кулик А.Я. Плазменное напыление покрытий деталей дизеля. Киев, Знание, 1981, 24 с.
146. Алексеев П.Г., Щеглов А.В. Влияние поверхностно-активной среды на процессы деформационного упрочнения и износостойкости поверхностей. Трение и износ, №2, т.4, 1983, с.189-193.
147. Долговечность трущихся деталей машин. Вып.3, М., Машиностроение, 1988, 270 с.
148. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин. Шведков К.Л., Ровинский Д.Я., Зозуля В.Д., Киев, Наукова думка, 1979, 185 с.
149. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М., Машиностроение, 1985, 424 с.
150. Селиванов А.И. Дизельная топливная аппаратура. М. Сельхозгиз, 1954, 534 с.
151. Кащеев В.Н. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов. М., Машиностроение, 1978, 208 с.
152. Федченко И.И. Повышение износостойкости узлов трения с помощью защитного покрытия /И.И.Федченко//Зб.наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – № 69. – С 105-111.

153. Федченко И.И. Повышение износостойкости чугунных деталей /И.И.Федченко// Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – 2004. – №.26. – С 219-225.
154. Федченко И.И. Методы повышения износостойкости поверхностей трения /И.И Федченко// Зб.наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – №79. – С 134-139.
155. Пат. 87796 Україна, UA С 21 D 9/34, С 21 D 8/00, С 23 С 8/00/ Спосіб поверхневого зміцнення коліс суцільнокатаних / Тимофєва Л.А., Остапчук В.М., Федченко І.І.; власник Українська державна академія залізничного транспорту – зареєстр. 10.08.09.
156. Пат. №45841А Україна / Спосіб хіміко-термічної обробки деталей із металів та сплавів / Л.А.Тимофєєва, Л.В.Проскуріна, С.С.Тимофєєв, І.І.Федченко, власник Українська державна академія залізничного транспорту – зареєстр. 15.04.2002р.
157. Федченко И.И. Повышение износостойкости чугуна при помощи многослойного покрытия / И.И. Федченко // Матеріали 3-го міжнародного науково-технічного семінара, 25-27 лютого: тези доп. - Свалява, 2003 – С 81-83.
158. Федченко И.И. Повышение износостойкости узлов трения с помощью защитного покрытия /И.И.Федченко//Зб.наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – № 69. – С 105-111.
159. Федченко И.И. Повышение износостойкости чугунных деталей /И.И.Федченко// Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – 2004. – №.26. – С 219-225.
160. Федченко И.И. Методы повышения износостойкости поверхностей трения /И.И Федченко// Зб.наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – №79. – С 134-139.
161. Пат. 87796 Україна, UA С 21 D 9/34, С 21 D 8/00, С 23 С 8/00/ Спосіб поверхневого зміцнення коліс суцільнокатаних / Тимофєва

- Л.А., Остапчук В.М., Федченко І.І.; власник Українська державна академія залізничного транспорту – зареєстр. 10.08.09.
162. Федченко И.И Влияние поверхностного диффузионного слоя на интенсификацию процессов импульсной листовой штамповки /Є.А.Фролов, С.С.Тимофеев, И.И. Федченко, И.В Манаєнков // Зб.наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – №88. – С. 123-128.
163. Пат. №45841А Україна / Спосіб хіміко-термічної обробки деталей із металів та сплавів / Л.А.Тимофеева, Л.В.Проскуріна, С.С.Тимофеев, І.І.Федченко, власник Українська державна академія залізничного транспорту – зареєстр. 15.04.2002р.
164. Федченко И.И. Повышение износостойкости чугуна при помощи многослойного покрытия / И.И. Федченко // Материали 3-й міжнародного науково-технічного семінара, 25-27 лютого: тези доп. - Свалява, 2003 – С 81-83.
165. Федченко И.И. «Повышение износостойкости узлов трения» /И.И.Федченко // Материали 4-й міжнародной науково-технічної конференції «Инженерия поверхности и реновация изделий», 25-27 травня: тези доп. – Київ , 2004 – С 59-61.
166. Федченко И.И. «Влияние технологических параметров алюмохромофосфатирования на эксплуатационные свойства деталей цилиндрической группы дизелей» / В.Н.Остапчук, С.С.Тимофеев, И.И.Федченко // Сб.стат. по материалам 13-й международной научно-практической конференции Технологии XXI века, 10-12 липня - Алушта 2005.
167. Федченко И.И. «Покрытия функционального назначения» /И.И.Федченко // Материали 7-й міжнародной науково-технічної конференції «Инженерия поверхности и реновация изделий» 27-30 травня: тези доп. – Київ, 2007 – С 40-42.
168. Федченко И.И. «Повышение качества рабочих поверхностей колес цельнокатаных» / В.Н.Остапчук, С.С.Тимофеев, И.И.Федченко //

Материали 7-й міжнародно науково-технічної конференції «Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика» 22-26 вересня: тези доп. Ялта 2007 – С 55-57.

169. Федченко И.И. «Повышение качества поверхности колес цельнокатаных путем разработки состава покрытия» / С.С.Тимофеев, И.И.Федченко // Материали 8-й міжнародного науково-технічної конференції «Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика» 26-30 вересня: тези доп. Ялта 2008 – С 32-33.
170. Федченко И.И. «Повышение износостойкости деталей транспортного назначения алюмо, хромофосфатированием» / С.С.Тимофеев, И.И.Федченко // Материали 9-й міжнародно науково-технічної конференції «Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте» 22-26 лютого тези доп. Свалява 2009 – С 40-42.
171. Шадур Л.А. Развитие отечественного вагонного парка.- М.: Транспорт, 1988 - 279с., ил, табл.
172. Оценка экономической эффективности инвестиций мероприятий научно-технического прогресса. Учеб. пособие под ред. В.Л. Дикань. Основа, 1995.
173. Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте /ВНИИЖТ МПС. – М.: Транспорт, 1991 – 239 с.