

УКРАИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

на правах рукописи

Шулика Александр Сергеевич

УДК 625.144.6:62-82.004.62

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ГИДРОПРИВОДОВ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН
ЭЛЕКТРООБРАБОТКОЙ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Специальность 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
Лысиков Евгений Николаевич,
доктор технических наук,
профессор

Харьков - 2006

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Перечень условных сокращений.....	4
Введение.....	5
РАЗДЕЛ 1. Состояние вопроса и задачи исследования.....	12
1.1. Ресурс гидроприводов транспортных машин.....	12
1.2. Структура рабочих жидкостей гидроприводов транспортных машин....	16
1.3. Минералогический и фракционный состав продуктов износа узлов трения гидроприводов транспортных машин	19
1.4. Влияние внешних силовых полей на улучшение противоизносных свойств рабочих жидкостей гидроприводов.....	28
1.5. Выводы. Цель и задачи исследований.....	32
РАЗДЕЛ 2. Теоретические основы повышения ресурса гидроприводов транспортных машин обработкой рабочей жидкости внешним электростатическим полем.....	34
2.1. Влияние скорости изнашивания на ресурс пар трения гидроприводов транспортных машин	34
2.2. Механизм формирования оболочек поверхностно-активных веществ на частицах износа.....	40
2.3. Математическая модель формирования адсорбционной пленки поверхностно-активных веществ на продуктах износа	46
2.4. Механизм формирования граничных смазочных слоев на поверхностях трения гидроприводов транспортных машин.....	57
2.5. Выводы.....	66
РАЗДЕЛ 3. Лабораторные исследования скорости изнашивания поверхностей трения при обработке рабочей жидкости электростатическим полем.....	68
...	

	3
3.1. Методика и программа проведения лабораторных исследований.....	77
3.2. Результаты проведения лабораторных исследований скорости изнашивания трения.....	87 поверхностей 88
3.3. Выводы.....	
РАЗДЕЛ 4. Повышение ресурса аксиальнопоршневого насоса электрообработкой рабочей жидкости. Эксплуатационные испытания.....	88 98
4.1. Программа и методика проведения эксплуатационных испытаний.....	105 106
.....	114
4.2. Результаты проведения эксплуатационных испытаний аксиальнопоршневого насоса.....	117 129
4.3. Выводы.....	
РАЗДЕЛ 5. Экономический эффект выполненных исследований.....	
Основные результаты и выводы.....	
Список использованных источников.....	
Приложения.....	

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

РЖ	– рабочая жидкость
ЭП	– электростатическое поле
ПАВ	– поверхностно-активные вещества
КПД	-- коэффициент полезного действия
КП	-- коэффициент подачи
ТМ	-- транспортные машины
ТО	-- техническое обслуживание
ТР	-- текущий ремонт

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития Украины среди ТМ самое широкое распространение получил объемный гидропривод рабочих органов и, как показывает опыт их эксплуатации, на него приходится значительная доля отказов, в результате чего снижается ресурс машин и увеличиваются затраты на ТО и ТР [1, 89 и др.].

В последние десятилетия интенсивно проводятся исследования в области воздействия силовых полей на противоизносные свойства жидких смазочных сред [12,17,45,60-62,97,98]. Анализ известных научно-исследовательских работ показал, что противоизносные свойства РЖ можно улучшить путем их обработки внешним ЭП. В результате в структуре РЖ происходят изменения, что способствует эффективному формированию адсорбционных пленок на поверхностях трения основных узлов гидроприводов рабочих органов ТМ.

В работе выдвинута гипотеза формирования локальных электростатических полей на продуктах износа, значения напряженности которых многократно превышают значение напряженности внешнего поля, что позволяет интенсифицировать процесс покрытия продуктов износа оболочкой ПАВ. В результате снижается скорость износа, что приводит к повышению ресурса гидроприводов ТМ.

Актуальность темы

На сегодняшний день одной из актуальных проблем является энергосбережение при эксплуатации ТМ. Эта проблема может быть решена

несколькими путями, одним из которых является повышение ресурса гидроприводов рабочих органов ТМ.

Ресурс гидроприводов ограничен скоростью изнашивания его элементов. В узлах трения гидроприводов ТМ ключевым звеном, обеспечивающим снижение износа их поверхностей, является адсорбционная пленка. Ее параметры определяются природой смазочных материалов, поверхностей трения и режимов нагружения узлов трения. РЖ выполняет функции рабочего тела и смазывающего материала, из которого формируется адсорбционная пленка на поверхностях трения. Проблема формирования адсорбционных пленок и улучшения противоизносных свойств рассматривалась во многих трудах отечественных и зарубежных исследователей и стала одной из самых актуальных проблем, связанных с повышением ресурса гидроприводов ТМ.

Узлы трения гидроприводов ТМ в процессе их работы подвержены закономерностям изнашивания. Согласно этим закономерностям происходит образование вторичных структур, к которым относятся, в том числе, и продукты износа поверхностей трения. Как известно, продукты износа являются неотъемлемым компонентом жидких смазочных сред в узлах трения гидроприводов ТМ, и их присутствие влияет на противоизносные свойства РЖ. По своему минералогическому составу и структуре продукты износа в значительной степени отражают приповерхностные слои поверхностей трения. Однако они отличаются повышенной плотностью поверхностно-активных центров вследствие деформации кристаллических решеток.

В последние десятилетия интенсивно проводятся исследования [12,17, 45,60-62,97,98] в области воздействия силовых полей на противоизносные свойства жидких смазочных сред. К одному из таких способов относится воздействие электростатическим полем. Основные физические процессы воздействия ЭП на структуру смазочных сред и их противоизносные свойства на современном этапе стали одной из актуальных проблем,

связанных с повышением ресурса гидроприводов. Однако в этих работах не раскрыт механизм интенсификации адсорбционных процессов вокруг продуктов износа путем обработки РЖ внешним ЭП. Поэтому в работе выдвинута гипотеза формирования локальных ЭП на продуктах износа, величина напряженности которых многократно превышает значение напряженности внешнего поля. Они позволяют интенсифицировать процесс покрытия продуктов износа оболочкой поверхностно-активных веществ (ПАВ). У продуктов износа, покрытых оболочкой ПАВ, увеличивается энергия связи с поверхностями трения. В условиях конкурентной физической адсорбции продукты износа, покрытые оболочкой ПАВ, будут взаимодействовать с поверхностями трения в первую очередь. Такое явление приводит к увеличению фактической площади контакта поверхностей трения за счет заполнения впадин между микронеровностями. Таким путем можно снизить износ и, следовательно, повысить ресурс узлов трения гидроприводов ТМ. Проведенные экспериментальные исследования в работе подтверждают эффект улучшения противоизносных свойств РЖ, используемых в гидроприводах ТМ. Благодаря этому снижается износ поверхностей трения гидроагрегатов, и, как следствие, повышается ресурс их основных узлов.

Связь с научными программами, планами и темами

Диссертационная работа отвечает программе «Повышение надежности и долговечности машин и конструкций», приведенной в Постановлении Верховного Совета Украины №2750 от 16.10.92 с последующими дополнениями и согласовано с Концепцией и Программой реструктуризации на железнодорожном транспорте, утвержденном постановлением Кабинета Министров Украины №769 от 02.06.1998; научному направлению Украинской государственной академии железнодорожного транспорта, научно-исследовательской работе по государственной бюджетной теме № 8/4 – 04Б от 01.01.2004 «Дослідження і розробка пристроїв для підвищення строків служби оливі та

протизношувальних властивостей дизельних палив» номер государственной регистрации – 0104U003234.

Цель и задачи исследования

Целью данной работы является повышение ресурса узлов трения гидроприводов транспортных машин обработкой рабочей жидкости электростатическим полем.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Установить закономерность изменения ресурса гидроприводов ТМ от скорости изнашивания узлов трения;
2. Разработать физические основы формирования адсорбционных пленок на продуктах износа в условиях обработки РЖ гидроприводов ТМ внешним ЭП;
3. Разработать математическую модель формирования оболочек ПАВ вокруг продуктов износа в условиях интенсификации адсорбционных процессов под воздействием ЭП;
4. Раскрыть механизм формирования граничных смазочных слоев на поверхностях узлов трения гидроприводов ТМ при обработке РЖ внешним ЭП;
5. Экспериментальным путем установить влияние обработки РЖ внешним ЭП на ресурс узлов трения гидроприводов ТМ;
6. Установить фактическое увеличение ресурса гидропривода в эксплуатационных условиях при обработке РЖ ЭП.

Объект исследования – узлы трения гидроприводов ТМ с использованием РЖ на нефтяной основе.

Предмет исследования – противоизносные свойства РЖ в условиях их обработки внешним ЭП.

Методы исследования - исследование влияния обработки РЖ внешним ЭП на ресурс гидроприводов ТМ проводилось на базе теории

надежности, математической статистики, метода системного анализа, современных положений физики, триботехники, механики.

При проведении экспериментальных исследований использовались основы теории планирования и обработки экспериментальных данных, а также методы математической статистики.

Научная новизна полученных результатов

Установлена закономерность повышения ресурса узлов трения гидроприводов ТМ при обработке РЖ внешним ЭП в зависимости от размеров продуктов износа в диапазоне до 5мкм.

Разработана математическая модель формирования локальных полей вокруг продуктов износа при обработке РЖ внешним ЭП.

Впервые разработан механизм формирования граничных смазочных слоев на поверхностях трения гидроприводов в условиях обработки РЖ внешним ЭП.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием во время исследований фундаментальных положений физики, удовлетворительной корреляцией результатов теоретических и экспериментальных исследований, использованием современных методик, аппаратуры.

Практическая ценность полученных результатов.

1. Обработка РЖ гидроприводов ТМ внешним ЭП позволила повысить ресурс аксиальнопоршневых насосов их гидроприводов в 1,5 – 2 раза (приложение К).

2. Основные положения диссертационной работы включены в планы реализации ООО «МАСТ» путем использования обработки ЭП РЖ, производимых ООО «МАСТ» и использующихся в гидроприводах и гидропередачах железнодорожного транспорта с целью улучшения противоизносных свойств РЖ в процессе эксплуатации (приложение Л).

3. Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований используются в учебном процессе по специальности 7.090214

“Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, мелиоративные машины и оборудование” Украинской государственной академии железнодорожного транспорта (приложения М, Н).

4. Внедрение в эксплуатационных условиях разработанного способа повышения ресурса гидроприводов позволяет получить годовой экономический эффект на одну путевую машину ПУМ-1М – 45354 тыс. грн/год.

Личный вклад соискателя.

На защиту выносятся следующие научные результаты, полученные лично диссертантом:

1. Математическая модель формирования адсорбционных пленок на поверхности частиц износа;
2. Механизм образования адсорбционных слоев на поверхностях трения гидроприводов ТМ при обработке РЖ ЭП;
3. Математическая модель влияния частиц износа на ресурс пар трения;
4. результаты экспериментальных исследований влияния продуктов износа на скорость изнашивания узлов трения ТМ и повышение их ресурса.

Основные публикации, изданные в соавторстве:

[53] – исследованы физические основы формирования граничного смазочного слоя из продуктов износа, покрытых оболочкой ПАВ;

[57] – проведен анализ формирования адсорбционного слоя в зависимости от топографии поверхностей трения.

[60] – раскрыт механизм формирования оболочки ПАВ вокруг продуктов износа;

[63] – расчет локальных полей на продуктах износа в условиях обработки РЖ внешним ЭП;

[64] – произведен анализ состава продуктов износа узлов трения гидроприводов ТМ.

Апробация результатов диссертации.

Материалы и результаты диссертационных исследований докладывались и обговаривались:

- на 65, 66, и 67-й международных научно-технических конференциях кафедр Украинской государственной академии железнодорожного транспорта и специалистов железнодорожного транспорта и предприятий. Харьков 2003-2005;

- на Международной научно-технической конференции «Вибрация машин: измерение, снижение, защита». Донецк 2005;

- полностью результаты диссертационной работы докладывались на расширенном заседании кафедры «Строительные, путевые и погрузочно-разгрузочные машины», УкрГАЖТ в 2005г., с участием членов специализированного ученого совета.

Публикации.

По результатам диссертации в специализированных изданиях, утвержденных ВАК Украины, опубликовано 5 научных работ. Материалы диссертации изложены в тезисах докладов международных научно-технических конференций. Получен вывод Государственного департамента интеллектуальной собственности Украины об установке даты подачи заявки на изобретение.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из вступления, пяти разделов, основных результатов и выводов, списка использованной литературы и приложений. Общий объем работы 150 страниц, в том числе: 102 страницы основного текста, 21 таблицы по тексту, 36 рисунков по тексту, список использованной литературы, который содержит 131 наименование, 11 приложений на 22 страницах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Абанкин Ю.И., Зайцев Ю.А. Изменение загрязненности рабочей жидкости в гидросистемах машин при их эксплуатации // Вестник машиностроения. - 1984. - № 8.- С. 24

2 Аврунин Г.А., Кабаненко И.В., Хавиль В.В. Анализ современного технического уровня гидрообъемных передач // Вибрации в технике и технологиях. - 2003. - № 4. – С. 3-7.

- 3Айнбиндер С.Б., Тюнина Э.Л. Введение в теорию трения полимеров. - Рига: Зинатне, 1978г. - 224с.
- 4Аниканов С.Г. Оптимизация параметров установки для очистки рабочих жидкостей в условиях эксплуатации строительных машин: Дис.канд. техн. наук.-Л., 1980. -201с.
- 5Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. - М.: Физматгиз, 1963. -471с.
- 6Баздеркин Б.А., Венцель С.В. Способ определения и разработка показателя смазочной способности масел в граничных условиях // Трение и износ. - 1985. - Т.6, №1. - С.76 – 79.
- 7Барамбойм Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений. М.: Химия, 1978. - 288с.
- 8Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. – М.: Машиностроение, 1982. – 423с.
- 9Белянин Б.В., Эрих В.Н., Корсаков В.Г. Технический анализ нефтепродуктов и газа. - Л., Химия, 1986. – 224с.
- 10Березняков А.И., Венцель Е.С. О термодинамическом аспекте изнашивания трибосопряжений // Трение и износ.-1991.-Т.12, №3.-С.529-534.
- 11Буяновский И.А. Учение о граничной смазке // Химия и технология топлив и масел. - 1996.-- №1. - С.46 – 49.
- 12Венцель Е.С. Гидродинамический диспергатор для улучшения свойств смазочных масел // Мир техники и технологий. -2003г.- №7. - С.42-43.
- 13Венцель Е.С. Гранулометрический состав загрязнений как один из факторов, определяющих противоизносные свойства масел // Трение и износ. - 1992г. – Т.13, №4. - С. 683-688.
- 14Венцель Е.С. Повышение износостойкости трибосопряжений гидродинамическим диспергированием масел: Дис. докт. техн. наук. – Харьков, 1990. – 397 с.
- 15Венцель Е.С., Березняков А.И. О термодинамической оценке влияния диспергирующих частиц загрязнений на приспособляемость масел к условиям трения // Трение и износ. - 1990. Т.11, №5. - С.824-828.
- 16Венцель Е.С., Березняков А.И. Некоторые особенности проявления электропроводности и механической прочности масляной пленки // Трение и износ. - 1990. Т.11, № 6. - С.1039-1042.
- 17Венцель Е.С., Жалкин С.Г., Данько Н.И. Улучшение качества и повышение сроков службы нефтяных масел. -Харьков: УкрДАЗТ, 2003.-168с.
- 18Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания. - М.: Химия, 1979. – 240с.
- 19Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. - Киев: Техника, 1975. - 168 с.
- 20Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – Москва: Химия, 1976.— 512с.
- 21Гаркунов Д.Н. Триботехника. - М.: Машиностроение, 1989.- 328с.
- 22Гельцер А.К. Исследование процесса очистки гидросистем при изготовлении экскаваторов: Дис. канд. техн. наук. - Л., 1973. - 220с.

- 23Гриневич Г.П., Каменская Е.А. Надежность погрузочно-разгрузочных машин. – Москва: Транспорт, 1974. – 200с.
- 24Грозин Б.Д. Износ металлов. – Киев: Гостехиздат, 1951. –252 с.
- 25Гуленко Н.Н., Фомин В.В. Механизация и автоматизация путевых работ за рубежом. – М.: Транспорт, 1975. – 232с.
- 26Дейнега Ю.Ф., Ковганич Н.Я. Пластичные смазки. - Киев, Наукова думка, 1975. - С. 94 – 97.
- 27Демкин Н.Б. Фактическая площадь касания твердых поверхностей. - М.: Издательство АН СССР, 1962. - 113с.
- 28Дервянко С.Н., Лысиков Е.Н., Булыга В.В. Комплексная механизация строительства автомобильных дорог.-Харьков: ХАДИ, 1996.-222с.
- 29Дерновая Л.И., Чалых А.Е., Эльтеков Ю.А. Свойства поверхности оксида железа, модифицированного стеариновой кислотой и октадециламином//Журнал физической химии.-1993.-Т.67, №10. -С.1995-2000.
- 30Духин С.С., Дерягин В.В. Электрофорез. - М.: Наука, 1979.-392 с.
- 31Духин С.С., Экстрела-Льонис В.Р., Жолновский Э.Г. Электроповерхностные явления и электрофильтрация. - Киев: Наукова думка, 1985. -288 с.
- 32Журба В.А., Тараканов Г.П., Хайкис М.Л. Машины для транспортного строительства. – М.: Транспорт, 1984. -428с.
- 33Загоревская Е.В., Ковалева Е.В., Куликов Н.С. Исследование свойств поверхности $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ газохроматографическим методом // Журнал физической химии. – 1989. - Т.63, № 12. - С. 3289-3294.
- 34Игнатьева З.В. Влияние характера теплового нагружения на структуру поверхностных слоев материала // Исследование структуры фрикционных материалов при трении. - М., Наука, 1972. – С 84-87.
- 35Киселев М. М. Топливо смазочные материалы для строительных и дорожных машин. - М., Стройиздат, 1988. - 270с.
- 36Коваленко В.П. Загрязнение и очистка нефтяных масел. - М.: Химия, 1978. - 302с.
- 37Коваленко В.П. Загрязненность нефтяных масел при транспортировании и хранении, их очистка.- М.:ЦНИИТЭнефтехим, 1974.-577с.
- 38Коваленко В.П., Ильинский А.А. Основы техники очистки от механических загрязнений. - М.: Химия, 1982. - 272с.
- 39Коваленко В.П., Турчанинов В.Е. Очистка нефтепродуктов от загрязнения. - М.: Недра, 1990. - 161с.
- 40Косолапов В.Б. Повышение эксплуатационной надежности гидроприводов строительных и дорожных машин при воздействии внешнего электрического поля на рабочую жидкость: Дис. канд. техн. наук: 05.05.04. - Харьков, 1995. - 212с.
- 41Косолапов В.Б., Рукавишников Ю.В. Влияние параметров микронеровностей поверхности на процесс адсорбции // Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. Сборник научных трудов «Автомобильный транспорт». Сер. «Совершенствование машин для земляных и дорожных работ». – 2004 – №11. - С.61-64.

- 42Кочанов Э.С., Кочанов Ю.С., Скачков А.Е. Электрические методы очистки и контроля судовых топлив.– Л.: Судостроение, 1990. – 260с.
- 43Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. – М.: Наука, 1965г. - 248с.
- 44Крагельский И.В. Трение и износ. - М.: Машгиз, 1962. - 382 с.
- 45Кривченко В.Г., Чирков С.В., Казанец В.И. Исследование зависимости эффективности очистки гидравлического масла АМГ - 10 в электроочистителе от параметров изоляционного покрытия электродов // Исследование эксплуатационных свойств авиаГСМ и спецжидкостей. - Киев: КИИГА, 1987. - С. 30 - 35.
- 46Кузьменко А.Г., Сытник С.В. Методы испытаний на износ // Проблемы трибології. - 1999. - № 2. – С.39-109.
- 47Лашхи В.Л., Фукс И.Г., Шор Г.И. Коллоидная химия смазочных масел // Химия и технология топлив и масел. - 1991. - №7. - С.16-20.
- 48Лозовский В.Н. Надежность гидравлических агрегатов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320с.
- 49Лысиков Е.Н. Влияние продуктов износа элементов гидроприводов на адсорбционные процессы рабочих жидкостей при воздействии на них электростатическим полем. // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 2000. – №4. – С. 55–54.
- 50Лысиков Е.Н. Влияние электростатической обработки рабочих жидкостей на интенсивность износа пар трения гидроприводов // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 2000. - №12-13. – С.75-78.
- 51Лысиков Е.Н. Теоретические основы интенсификации адсорбционной способности рабочих жидкостей // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1997. – № 6. – С.41-43.
- 52Лысиков Е.Н. Физические основы механизма взаимодействия внешнего электростатического поля на структуру рабочей жидкости гидроприводов строительных и дорожных машин // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 2000. – №11. – С.44 - 47.
- 53Лысиков Е.Н., Воронин С.В., Шулика А.С. Физические основы интенсификации процесса самоорганизации узлов трения гидроприводов путевых и строительных машин в режиме граничной смазки. // Вісник НТУ „ХПІ”. Автомобіле та тракторобудування. – Харків, 2005. - №10. - С.83-86.
- 54Лысиков Е.Н. Косолапов В.Б. Интенсификация адсорбционной способности рабочей жидкости гидроприводов путем воздействия на неё электростатическим полем // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1997. – № 6. – С.44-47.
- 55Лысиков Е.Н., Косолапов В.Б., Воронин С.В. Исследование полужидкостной смазки трибосопряжений при обработке рабочих жидкостей

электростатическим полем // Автомобильный транспорт: сер. «Совершенствование машин для земляных и дорожных работ», 2000. – №5. – С.70–72.

56Лысиков Е.Н., Косолапов В.Б., Воронин С.В. Расчет толщины адсорбированных слоев молекул ПАВ на поверхностях трибосопряжений // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. – Харьков: РИО ХНАДУ, 2001. – № 7 – 8. – С. 95 – 99.

57Лысиков Е.Н., Косолапов В.Б., Шулика А.С. Влияние микронеровностей поверхностей трибосопряжений на процессы адсорбции // Автомобильный транспорт. Серия «Совершенствование машин для земляных и дорожных работ». – Харьков: РИО ХНАДУ, 2003. – №11. - С. 61-64.

58Лысиков Е.Н., Косолапов В.Б., Юрченко Ю.В. Исследование влияния электрической обработки масла на коэффициент трения в трущейся паре // Тр. Республиканской конф. «Экономия и рациональное использование сырьевых, топливо - энергетических и других материальных ресурсов в строительстве». – Харьков, 1986.

59Лысиков Е.Н., Рева А.И, Косолапов В.Б. Изменение противоизносных свойств рабочей жидкости ЗТМ обработкой электрическим полем // Тр. Междунар. конф. «Повышение эффективности проектирования, испытаний и эксплуатации двигателей, автомобилей, вездеходных, специальных, строительных и дорожных машин». - Россия, Нижний Новгород, 1994.

60Лысиков Е.Н., Шулика А.С., Стефанов В.А., Мазур А.Д., Гусь В.С. Состав и структура жидких смазочных сред в условиях эксплуатации технических систем // Довговічність, надійність, працездатність деталей рухомого складу залізниць та спеціальної залізничної техніки. – Харків: УкрДАЗТ. - 2005. - №69. - С. 125 – 130.

61Лисіков Є.М. Підвищення ресурсу трибосполучень технічних систем шляхом впливу електростатичного поля на мастильні матеріали // Техніка та технологія виконання будівельних, колійних та перевантажувальних робіт на транспорті. – Харків: УкрДАЗТ. - 2004. - № 58.- С. 5 - 10.

62Лисіков Є.М., Воронін С.В. Експлуатаційні випробування аксіально-поршневих насосів в умовах обробки робочих рідин зовнішнім електростатичним полем. // Техніка та технологія виконання будівельних, колійних та перевантажувальних робіт на транспорті. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. - № 58. - С. 58-62.

63Лисіков Є.М., Воронін С.В., Шуліка О.С., Бобров Є.А. Формування локальних електричних полів на продуктах зносу поверхонь тертя гідроприводів колійних та будівельних машин // Удосконалення управління експлуатаційною роботою залізниць. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. - №66. - С. 112-117.

64Лисіков Є.М., Шуліка О.С. Роль продуктів зносу трибосполучень гідроприводів в умовах обробки робочої рідини електростатичним полем // Техніка та технологія виконання будівельних, колійних та

перевантажувальних робіт на транспорті. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. - № 58. - С. 54-58.

65Любарский И.М., Палатник Л.С. Металлофизика трения. - М.: Металлургия, 1976. – 210с

66Любарский И.М., Удовенко В.Ф., Федорков Н.Н. О трении в условиях вакуума. – ФХММ, 1967. - Т.3, № 2.

67Марченко Е.А. О природе разрушения металла при трении. - Москва: Наука, 1979. - 118с.

68Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. – Москва: Высшая школа, 1983 - 463с.

69Матвеевский Р.М., Буяновский И.А., Лазовская О.В. Противозадирная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки. - М.: Наука, 1978. – 191с.

70Меркурьев Г.Д., Елисеев Л.С. Смазочные материалы на железнодорожном транспорте: Справочник. – М.: Транспорт, 1985. – 255с.

71Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1991. – 239с.

72Методические указания по определению экономической эффективности новой строительной, дорожной и мелиоративной техники, РД 22 - 313-89-м., НПО по строительству и дорожному машиностроению. - М.: ЦНИИТЭСтроймаш, 1990. -220с.

73Мицеллообразование, солюбизация и микроэмульсии / Под ред. К.Л. Миттела. -- М.: Мир, 1980. - 597 с.

74Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трибология. Принципы и приложения. – Гомель: ИМНС, НАНБ, 2002. – 310с.

75Никонов К.В. Движение частиц в электрическом поле: Сб. науч. тр. – К.: КИИГА, 1983. - С. 64 – 68.

76Осипов О.А., Минкин В.И. Справочник по дипольным моментам. – М.: Высшая школа, 1965. – 264 с.

77Основы научных исследований / под ред. Крутова В.И, Попова В.В. - М.: Высшая школа, 1989. - 400 с.

78Оценка 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. – 76с.

79Очистка рабочей жидкости в гидроприводах металлообрабатывающего оборудования. Методические рекомендации / Г.С. Полянская, Г.Ф.Ливада, Л.В.Кантемир и др. - М., 1982.

80Порохов В.С. Трибологические методы испытания масел и присадок . - М: Машиностроение, 1983. - 183с.

81Путевые машины: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / под ред. С.А . Соломонов, М.В. Попович, Б.Н. Стефанов. - М.: Транспорт, 1985. - 375с.

82Райко М.В. Смазка зубчатых передач. – К.: Техника, 1970.–196с.

- 83Рамайя К.С. Аномалия вязкости масел и ее влияние на трение в машинах. - НАМИ- М.: Машгиз, 1949. - 124 с.
- 84Ратайчак Г., Орвилл – Томас У. Молекулярные взаимодействия. – М.: Мир, 1984. – 600с.
- 85Ребиндер П.А. Физико-механическая механика. - М.: Наука, 1979. –831 с.
- 86Рекомендации по организации технического обслуживания и ремонта строительных машин. - М.: Стройиздат, 1978. - 92с.
- 87Рудзит Я.А., Лукьянов В.С. Параметры шероховатости поверхности. - Москва.: Издательство стандартов, 1979. - 164с.
- 88Руднев В.К. Улучшение противоизносных свойств нефтепродуктов электрообработкой // Тр. междунар. науч. – техн. конф. «Интерстроймех 2002».- Могилев: МГТУ, 2002.- С.303 – 304.
- 89Руднев В.К., Венцель Е.С., Лысиков Е.Н. Эксплуатационные материалы для строительных и дорожных машин: Учебное пособие. - К.: исио, 1993.-236 с.
- 90Руднев В.К., Лысиков Е.Н., Дрибин А.А., Влияние загрязненности рабочей жидкости на силу трения покоя в плунжерной паре // Проблемы трения и изнашивания. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. – К.: Техника. – 1985. - № 28.
- 91Соломонов С.А., Бугаенко В.М., Бураков А.А. Путевые машины. - Москва, 2000. – 754с.
- 92Сюняев З.И. Прикладная физико-химическая механика нефтяных дисперсных систем. - М., МИНХ и ГП им. Губкина, 1984. - 60с.
- 93Сюняев З.И. Применение внешних силовых полей для повышения качества смазывающих материалов. - М.: МИНХиГП им. Губкина, 1982. - 58с
- 94Толстой Д.М. Зависимость равнодействующей молекулярных сил при трении ползуна // Доклады АН СССР. – 1963. - Т. 53, № 4. - С. 119.
- 95Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Справочник . Под ред. В.М. Школьников. - Москва: Химия, 1989. - 432с.
- 96Торопов А.Г. Выбор оптимальной системы очистки рабочей жидкости гидросистем экскаваторов: дис.канд.техн.наук. -ЛИСИ, 1981.–231с.
- 97Третьяков И.Г., Короленко Ю.И. Влияние электромагнитных воздействий на противоизносные свойства топлива Т-7: Сб. науч. тр. - Киев: КИИГА, 1977.-С. 25-28.
- 98Третьяков И.Г., Миронов Е.А. Исследование влияния электромагнитного поля на эксплуатационные свойства масел // Сб. науч. тр. – К.: КИИГА, 1989. - С. 84 – 89.
- 99Усатенко С.Т. Влияние электрофизической обработки на полноту сгорания и нагарообразование горюче-смазочных материалов // Сб. науч. тр. - Киев: КИИГА, 1983 - С. 68-69.
- 100Федыня В.П., Зубченко А.Н. Влияние формы и материала рабочих электродов на эффективность работы электросепаратора жидких диэлектриков. Исследование процессов подготовки, применения и контроля

качества авиаГСМ и спецжидкостей // Сб. науч. тр. - Киев: КИИГА, 1988. - С. 88 – 92.

101Флайшер Г. К связи между трением и износом. Контактные взаимодействия твердых тел и расчет сил трения и износа. - М.: Наука, 1971. - С. 163-169.

102Френкель Я. О поверхностном ползании частиц у кристаллов и естественной шероховатости кристаллических граней // Журнал экспериментальной и теоретической физики. - 1946. – Т.16, № 1. – С. 39 -51.

103Фукс Г.И. Коллоидная химия нефти и нефтепродуктов. - М.: Знание, 1984. - 64 с.

104Хмара Л.А., Коваленко Р.В. Дослідження процесу копання одноковшовим гідравлічним екскаватором з телескопічним робочим обладнанням// Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - Дніпропетровськ: Gaudeamus. - 2000. - №8.-С. 33-40.

105Хребтов Н.В. Влияние объемного КПД насоса на производительность экскаватора // Строительные и дорожные машины. - 1986. - №1. - С. 11-12.

106Чеботарев И.И. Исследование влияния электрического поля на процесс смешения присадок с маслами // Нефтепереработка и нефтехимия. - 1971. - №9. - С. 11 – 12.

107Чирков С.В. Интенсификация технологий очистки масел и промывки гидравлических систем авиационных комплексов в процессе их производства и эксплуатации: Автореф. дис. д-ра техн.наук / Киев,1990.-29с.

108Чихос Х. Подход к системному анализу трибологических повреждений. // Трение и износ. – 1992. – Т.13, № 1. – С. 54-58.

109Чичинадзе А.В., Берлинер Э.М., Браун Э.Д. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника). – М.: Машиностроение, 2003. - 576с.

110Чичинадзе А.В., Хебда М. Справочник по смазочным материалам. – Москва: Машиностроение, 1989. – Т.1. - 400с.

111Чичинадзе А.В., Хебда М. Справочник по смазочным материалам. – Москва: Машиностроение, 1990. - Т.2. – 419 с.

112Шехтер Ю.Н., Крейн С.Э., Тетерина Л.Н. Маслорастворимые поверхностно-активные вещества. - М., Химия, 1978. – 304с.

113Якобсон А.Я. Адсорбционные свойства α -Fe₂O₃. // Журнал физической химии. – 1985. - Т.58, № 4.

114Beerbower A. // ASLE Trans. - 1981. - Vol. 24, N 3. - P. 285-292.

115Bowden F.P. and Tabor D. Friction and Lubrication of Solids. - Oxford, 1950. - Part 1. - 375 p.

116Bowden F.P. and Tabor D. Friction and Lubrication of Solids. - Oxford, 1964. - Part 2. - 360 p.

117Iain Raw, Hunt T.M., Mech M.I. A particle size analyzer based on filter blockage // Proc. Conf. on Condition Monitoring. Swansea.- 1987. - P875-895.

118Kayaba T., Kato K., Akagaki T. // Journ. Of JSLE Int Ed. - 1986. - №7. - P. 53 - 58.

- 119 Kimura Y. An Interpretation of Wear as a Fatigue Process. JSLE – ASIE. International Lubrication Conference. Tokyo, 1975.
- 120 Lewrs R.T. // Wear of Materials. N.Y. - 1981. - P. 783-790.
- 121 Ozogan M.S., Khalil A.I. Tribological failure detection and condition monitoring for diesel engines // Wear. – 1989. - Vol.130 - P.189-201.
- 122 Rabinowicz E. Friction and Wear of Materials. - New York, John Willey and Sons, Inc, 1965.
- 123 Rabinowicz E. Surface. Energy Approach to Friction and Wear // Product Engineering. – 1965. - Vol. 36. – №6.
- 124 Reda A.A., Bowen R., Westcott V.C. //Wear. - 1975. Vol.34. - №3. - P.53-58.
- 125 Roberts W.H. Some current trends in tribology in the UK and Europe. - Reasley, 1985.
- 126 Ruff A.W. Characterization of Debris Particles Recovered from Wearing Systems // Wear. – 1977. - Vol.42. - № 1.
- 127 Scott D., Westcott V.C. Predictive Maintenance by Ferrography // Wear . – 1977. - Vol.44. - № 1.
- 128 Senholzj P.B. // Tribology. Mater. Perfomance and Consery. Conv. Swansea, London. - 1978. - P.113-118.
- 129 Suh N.P. The Delamination Theory of Wear//Wear.-1973.-Vol.25.-№1.
- 130 Wear Particle Atlas Final Report under Contact No. N00156—74-C-1682 for Naval Air Engineering Center. Lakehurst; New Jersey. July, 1976.
- 131 Westcott V.C. Fundaments of Tribology // Cambridge MA. MIT Press. – 1978. - P. 811-829.