На правах рукописи

АЛЕКСЕЕВ СТАНИСЛАВ ПАВЛОВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Специальность 05.02.04 – Трение и износ в машинах

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Санкт-Петербург 2006

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский институт машиностроения (ЛМЗ-ВТУЗ)»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Чулкин Сергей Георгиевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Лысенков Павел Михайлович

кандидат технических наук, доцент
Братчиков Александр Яковлевич

Ведущая организация: Институт проблем машиноведения РАН (г.Санкт-Петербург)

Защита диссертации состоится «____» _____ 2006 г. в ____ ч. на заседании диссертационного совета Д.212.229.19 в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, г.Санкт-Петербург, ул.Политехническая, 29, лабораторно-аудиторный корпус, кафедра МиТОМД.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан «____» _____ 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор Востров В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность. Современные требования к надежности деталей машин определяется в первую очередь их износостойкостью и долговечностью. До 80% предназначенного оборудования механической обработки деталей (ОМО) выходит из строя по причине изнашивания ответственных трибосопряжений: подшипников и направляющих качения и скольжения, зубчатых и цепных передач вследствие неэффективного смазывания.

Износ деталей металлообрабатывающего и вспомогательного оборудования приводит к ухудшению режимов работы, снижению КПД, потери энергии, а также вызывает шум и вибрацию, приводящую к снижению качества продукции и преждевременному выходу из строя режущих инструментов. Для замены станочного оборудования требуются значительные капитальные вложения.

Цель работы - повышение долговечности ОМО за счет применения эффективных пластичных смазочных материалов (ПСМ) для приработки и конкретных условий эксплуатации.

Методы исследования. Решение поставленных задач осуществлялось путем аналитического и экспериментального изучения процессов трения и изнашивания деталей машин при использовании различных ПСМ. Их эффективность устанавливалась в результате обработки экспериментальных данных с применением методов математической статистики и регрессионного анализа.

Новые научные результаты.

1. Предложен метод оценки эксплуатационных параметров ОМО, основанный на учете физико-химических свойств ПСМ.

2. Установлены закономерности изменения эксплуатационных показателей механизмов ОМО, работающих по принципу качения, скольжения и качения с проскальзыванием при смазывании ПСМ.

3. Показана эффективность ПСМ на литиевой основе с точки зрения повышения долговечности оборудования. выявлено позитивное влияние геомодификаторов трения, вводимых в ПСМ, на долговечность трибосопряжений.

4. Сформулировано уточнение известной математической модели изнашивания трибосопряжений ОМО.

5. Предложен коэффициент эффективности ПСМ.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

1. Разработаны рекомендации по оценке влияния ПСМ на повышение надежности ОМО.

2. Разработаны рекомендации по использованию результатов исследований при конструировании станков, при проектировании технологических процессов механической обработки деталей и при ремонте оборудования.

3. Разработаны рекомендации по использованию научных результатов диссертации в учебном процессе высшей школы.

Реализация результатов работы. Разработанные в диссертации рекомендации по оценке влияния ПСМ на надежность ОМО, а также по подбору ПСМ при ремонте станочного оборудования внедрены в Государственном унитарном предприятии «775 артиллерийский ремонтный завод»,в Государственном унитарном предприятии «61 танковый ремонтный завод», в учебном процессе ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский институт машиностроения».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на 8-й Международной практической конференции-выставке «Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки», Санкт-Петербург, 2006 год; Третьем Международном Симпозиуме по транспортной триботехнике «Повышение износостойкости и долговечности машин и механизмов на трансторте «Транстрибо-2005», Санкт-Петербург, 2005 год; международной конференции «Качество поверхностного слоя деталей машин», Санкт-Петербург, 2004 год; международном конгрессе «Механика и трибология транспортных систем -2003», 2003 год, Ростов на Дону; Втором Международном Симпозиуме по транспортной триботехнике «Транстрибо-2002», Санкт-Петербург, 2002 год; научной конференции студентов и аспирантов Санкт-Петербургского государственного университета водных коммуникаций, Санкт-Петербург, 2004 год.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, общих выводов, списка использованной литературы, включающего 145 наименований, и приложений. Работа изложена на 178 страницах машинописного текста, содержит 22 таблицы и 40 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, представлена общая характеристика работы.

В первой главе диссертации кратко изложено состояние вопроса по рассматриваемой проблеме и поставлены задачи исследования.

Надежность определяется совершенством конструкции, технологии изготовления, и зависит от условий эксплуатации и ремонта ОМО.

Анализ работ отечественных и зарубежных авторов в области повышения надежности ОМО, в том числе Э.Д.Брауна, Н.А.Буше, И.А.Буяновского, Д.В.Василькова, В.Л.Вейца, Д.Н.Гаркунова, Б.И.Костецкого, И.В.Крагельского, П.М.Лысенкова, Р.М.Матвеевского, В.Ф.Пичугина, Л.И.Погодаева, А.С.Проникова, Д.Н.Решетова, А.П.Семенова, Г.М.Сорокина, М.М.Тененбаума, К.В.Фролова, А.В.Чичинадзе, С.Г.Чулкина, В.В.Шульца, Х.Блока, Ф.П.Боудена, Д.Тейлора, Д.Мура, М.Хебды, Х.Чихоса и др. позволил установить, что причиной отказа в большинстве случаев является износ деталей трибосопряжений.

Анализ применяемых технических решений (конструкторских, технологических и эксплуатационных) позволил выявить совокупность методов, оказы-

вающих существенное влияние на процесс изнашивания рабочих органов и увеличение долговечности узлов и механизмов станков. Показано, что применение ПСМ уменьшает интенсивность изнашивания деталей трибосопряжений.

Анализ применяемых ПСМ для ОМО позволил определить их приоритетность. Установлено, что наиболее приемлемыми являются смазочные композиции на литиевой основе. Приведены основные методы оценки эксплуатационных показателей ПСМ, применяемых в настоящее время в нашей стране и за рубежом.

Автором предложены следующие принципы выбора ПСМ:

а). Предварительно осуществить выбор эффективного ПСМ в зависимости от соотношения скорости относительного перемещения трущихся тел и нормального давления на узел трения.

б). Определять предельные условия работы трибосопряжения, а соответственно и ПСМ.

в). На основании априорной информации подобрать для исследования ряд ПСМ, рекомендуемых для условий работы, оговоренных в п.(б).

г). Разработать методику исследования влияния ПСМ на долговечность трибосопряжений станочного и вспомогательного оборудования, подобрать необходимые машины трения для проведения триботехнических испытаний.

д). Произвести оценку эффективности исследуемых ПСМ для конкретных трибосопряжений, работающих в определенных условиях.

На основании разработанных принципов может быть повышена эффективность применения ПСМ и, соответственно, надежность оборудования.

В работе поставлены следующие научные задачи:

1. Разработать математические и физические модели работы механизмов ОМО, работающих по принципу качения, скольжения и качения с проскальзыванием в условиях смазывания ПСМ.

2. Разработать комплексный метод оценки физико-химических свойств ПСМ и эксплуатационных параметров ОМО, обеспечивающих выполнение заданных технологических операций и качества обработки.

3. Установить закономерности прирабатываемости механизмов оборудования механической обработки, работающих по принципу качения с проскальзыванием, при использовании ПСМ.

4. Установить закономерности изменения эксплуатационных показателей – коэффициента трения и скорости изнашивания механизмов, работающих по принципу качения (подшипников и направляющих качения) при использовании ПСМ.

5. Разработать рекомендации по оценке влияния ПСМ на надежность ОМО и использованию результатов исследований.

<u>Вторая глава</u> посвящена разработке методики и программы исследования влияния ПСМ на надежность ОМО.

ПСМ являются конструкционными материалами, увеличивающими нагрузочную способность деталей и долговечность отдельных трибосопряжений, входящих в ОМО, тем самым повышая надежность механизмов и машин в целом. Разработанная общая методика исследования позволяет определить показатели, совокупность которых и определяет надежность ОМО.

В диссертации реализована следующая последовательность выполнения исследований:

1) моделирование условий работы трибосопряжений ОМО;
2) разработка принципов выбора ПСМ;
3) разработка метода оценки физико-химических свойств ПСМ;
4) разработка методов оценки эксплуатационных показателей (коэффициента трения, скорости изнашивания и долговечности) оборудования;
5) установление основных закономерностей влияния ПСМ на эксплуатационные показатели различных видов механизмов ОМО, работающих по принципу качения, скольжения и качения с проскальзыванием;
6) разработка рекомендаций по оценке ПСМ на надежность оборудования;
7) разработка рекомендаций по использованию результатов исследований при конструировании ОМО и обработке материалов резанием.

Поставленные задачи решались методами аналитического и экспериментального изучения процессов скольжения, качения и качения с проскальзыванием сопряжений машин и реализовывались с использованием машин трения.

Аналитические исследования выполнялись применительно к двум группам параметров, характеризующих элементы трибосистемы. В группу физико-химических параметров включены параметры ПСМ, такие как: температура каплепадения, коллоидная стабильность, испаряемость, вязкость, пенетрация, коррозионное воздействие, предел прочности, вымываемость смазки водой из подшипника и др. В группу триботехнических параметров были включены: прирабатываемость деталей трибосопряжений, коэффициент трения, абсолютный износ, скорость изнашивания и долговечность трибосопряжений.

В рамках настоящей диссертационной работы проводились аналитические исследования в трех направлениях с использованием качественных и количественных методов оценки информации.

Первое направление заключалось в исследовании состояния проблемы. Второе направление заключалось в формулировании принципов выбора ПСМ для повышения износостойкости трибосопряжений, принципов подбора методов оценки свойств смазочных композиций. Третье направление представляло собой аналитическую обработку экспериментальных данных. В этой части были использованы как качественные, так и количественные методы. Далее проводились статистическая обработка экспериментальных данных и построение математических моделей поведения трибосопряжений.

Современное металлообрабатывающее оборудование имеет в своей структуре практически все типы трибосопряжений, а именно: зубчатые передачи; червячные передачи; реечные передачи; цепные передачи; подшипники скольжения и направляющие скольжения; подшипники качения и направляющие качения; кулачковые механизмы и др.

При расчетах трибосопряжений на долговечность, а также при моделировании процессов изнашивания необходимо иметь классификацию, в которой отражены условия, связывающие конструктивную схему данного сопряжения с его износом. В работе использована классификация, предложенной проф. А.С.Прониковым, согласно которой все трибосопряжения подразделяются на пять групп в зависимости от постоянства условий трения и износа поверхностей в расположенных на одной траектории точках сопряженных поверхностей с учетом коэффициента взаимного перекрытия и реального пути трения. Принадлежность сопряжения к тому или иному типу и группе определяет методику проведения испытаний при изучении работы механизма. Проф. А.С.Проников, разрабовший типовые расчеты этих групп деталей на износ, отмечает, что трудности подобных расчетов связаны со скоростью изнашивания, которую необходимо определять экспериментальным путем, что и было сделано в настоящей работе.

В данной работе исследовалась долговечность различных трибосопряжений, таких как: направляющие скольжения и качения, подшипники скольжения и качения, зубчатые передачи, режущий инструмент-обрабатываемая заготовка, работающих по принципу качения, скольжения и качения с проскальзыванием.

Для оценки долговечности основных трибосопряжений ОМО автором предложены:

1) Уточненная математическая модель изнашивания трибосопряжений ОМО (на основании формулы проф. А.С.Проникова):

$$I_\tau = k_{CM}\, k\, p^m\, v^n, \qquad (1)$$

где I_τ – скорость изнашивания (мкм/ч); k_{CM} - коэффициент, учитывающий влияние пластичного смазочного материала (безразмерный); k - коэффициент, учитывающий материалы пары трения, шероховатость поверхностей, прирабатываемость пары трения, другие условия в зоне контакта (мм^2/Н); p- давление на поверхности трения (Н/мм^2); m=0,5…3,0 –показатель степени; ν – скорость относительного скольжения (м/с); n – показатель степени, для большинства пар трения он равен единице.

2) Коэффициент эффективности применения ПСМ для конкретного трибосопряжения (при прочих равных условиях):

$$К_э = (I_\tau)_i/(I_\tau)_{эт} = (k_{см})_i/(k_{см})_{эт}, \qquad (2)$$

где индексы «***i***» и «***эт***» принадлежат испытуемому и эталонному ПСМ соответственно.

Для получения корректных результатов при исследовании закономерностей изнашивания соблюдались принципы физического моделирования работы данных сопряжений ОМО на машинах трения 2070-СМТ-1 и ЧШМ-3,2.

На основании данных, полученных в результате экспериментов, был проведен расчет среднего срока службы вышеперечисленных механизмов ОМО.

В диссертации предложен комплексный метод оценки эксплуатационных параметров ОМО, обеспечивающих выполнение заданных технологических операций и влияющих на долговечность механизмов ОМО, включающий оценку: физико-химических свойств применяемых ПСМ, прирабатываемости трибосопряжений, потерь на трение и влияния широкого спектра отечественных и зарубежных ПСМ на долговечность трибосопряжений металлообрабатывающего и вспомогательного оборудования.

Приведена методика математической обработки экспериментальных данных и компьютерного моделирования процессов изнашивания трибосопряжений с использованием современных программных продуктов.

Третья глава содержит материалы экспериментальных исследований работы механизмов ОМО при использовании широкого спектра ПСМ.

Физико-химические исследования широко применяемых в нашей стране ПСМ, таких как «Литол-24М» и «Шрус-4М», а также нового ПСМ «Ранол-03» позволили установить, что практически по всем характеристикам они находятся примерно на одном уровне, а по коррозии на меди «Ранол-03» уступает ПСМ «Литол –24М»; по ряду показателей ПСМ «Ранол-03» не соответствует заявленным в рекламном проспекте характеристикам (табл.1).

Исследование закономерностей прирабатываемости трибосопряжений механизмов из стали 18ХГТ, закаленной и отпущенной по технологии изготовления деталей пар трения качения с проскальзыванием (зубчатые и цепные передачи), проводившееся на машине трения при обычных условиях, а также при использовании специальных добавок, позволило установить, что применение геомодификатора трения (ГМТ) способствует: сокращению периода приработки (рис.1) и «вылечиванию» отдельных дефектов поверхности, например, вырывов металла, отдельных раковин и микротрещин оставленных также после механической обработки, что, в конечном итоге увеличивает долговечность механизмов.

Момент трения на установившемся режиме в случае приработки пар трения с ГМТ оказывается на 20-30% ниже, чем на базовой паре. При этом имеется тенденция к дальнейшему уменьшению момента трения.

С увеличением времени приработки на кривых ГМТ1 и, особенно ГМТ2 можно наблюдать уменьшение амплитуды изменения момента трения со временем. Амплитуды значительно меньше, чем на базовой кривой. Это говорит о более устойчивой работе пары трения.

Измерения микрогеометрии образцов «ГМТ1-1» и «ГМТ1-2» на ИВК «Профиль» показали существенное (примерно в полтора раза) уменьшение шероховатости по всем параметрам по сравнению с базовой приработкой. Параметр R_a находится в пределах 0,35…0,45 мкм, график кривой Аббота смещается вверх (рис.2).

Таблица 1

Сравнительная характеристика смазочных материалов

№	Показатель качества	Норма Ранол-03	Эксперимент Ранол-03	Литол-24М	Шрус-4М
1	Температура каплепадения, С, н/м	196	198	185	190
2	Пенетрация при 25 С, с/п, в пределах	Н/м 330	280	220-260	250-280
3	Предел прочности, Па, при 20 С, в пределах	Н/м 720		500-1000	300-700
4	Предел прочности, Па, при 80 С, в пределах	Не норм.		Н/м 200	Н/м 150
5	Вязкость (АКВ) при минус 30 С и D=10 $с^{-1}$, Па*с, не более	Не норм.		Не норм.	1800
6	Вязкость (АКВ) при 0 С и D=10 $с^{-1}$, Па*с, не более	153,2	230	Не норм.	Не норм.
7	Вязкость (Реотест) при +50 С и D=100 $с^{-1}$, Па*с, н/м	Не норм.	8,9	7,5	Не норм.
8	Вязкость (Реотест) при 0 С и D=10 $с^{-1}$, Па*с, н/б	Не норм.	98,6	120	Не норм.
9	Вязкость (Реотест) при минус 20 С и D=10 $с^{-1}$, Па*с, н/б	Не норм.	166	160	Не норм.
10	Коллоидная стабильность, %, не более	8	11,85	14,5	16,0
11	Массовая доля механических примесей	Не норм.		Н/б 0,05	Отсутствие до введения присадок и наполнителей
12	Коррозия на стали	Не норм.	Выдерж	Не норм.	Выдерживает
13	Коррозия на меди	Не норм.	Не выдерж.	Выдерж.	Не норм.
14	Массовая доля воды	Не норм.	Следы	Отсутствие	Отсутств.
15	Массовая доля свободной щелочи, % , н/б	Не норм.	0,014	0,1	0,10
16	Испаряемость при120 С, н/б	Не норм.	2,2	6,0	5,0
17	Испаряемость при 200 С, н/б	7,8	23,6	Не норм.	
18	Стойкость к размыву водой при 38 С, % уноса, н/б	Не норм.	4,5	3,8 (показатель не нормируется)	5,0
19	Диапазон применения, С	Минус 70 – плюс 850	Минус 40 – плюс 140	Минус 40 – плюс 120	Минус 40 – плюс 120

20	Защитные свойства, погружение пластинки из стали 20 в морскую воду при 20 С на 40 ч.	Не норм.	Выдерживает	Выдерживает (показатель не нормируется)	Показатель не определялся

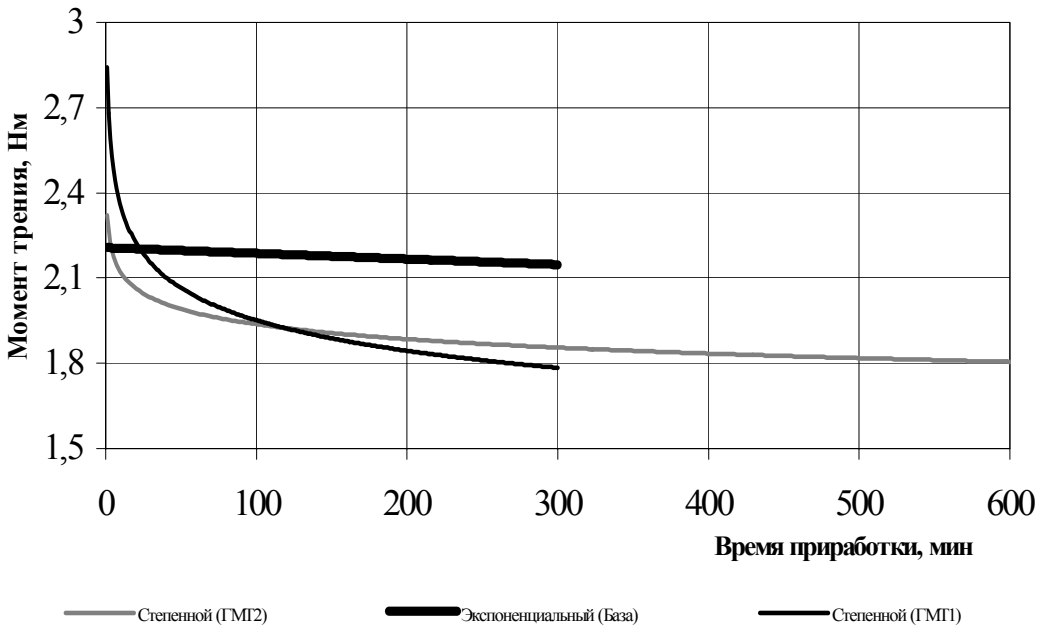
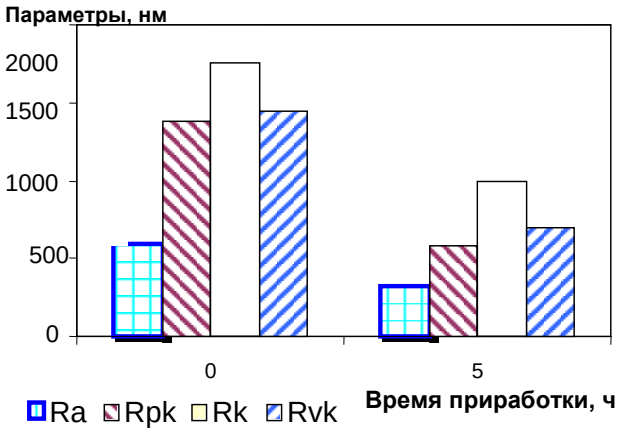
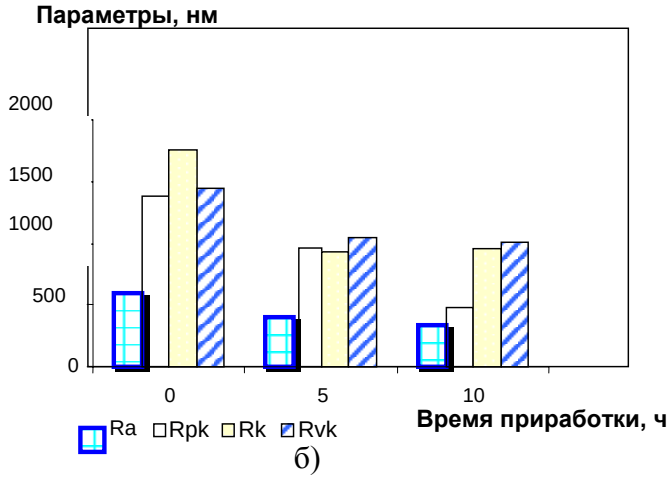


Рис.1. Зависимость коэффициента трения от времени приработки (мин) для трех пар трения – база, ГМТ1 и ГМТ2



а)



б)

Рис.2. Зависимости параметров микрорельефа от времени приработки образцов; а - база, б - приработка с ГМТ (5 часов – ГМТ1, 10 часов – ГМТ2). На обеих диаграммах на отметке времени «0» показаны параметры исходного образца.

Данная методика достижения равновесной шероховатости с использованием ГМТ может быть взята за основу при создания технологий финишной обработки рабочих поверхностей узлов трения.

Для стальных сопряжений таких как подшипники скольжения, направляющие скольжения и качения, зубчатые и цепные передачи, работающих при однократном смазывании при применении российских и зарубежных ПСМ, при скольжении коэффициенты трения в среднем в 7,3 раза превышают коэффициенты трения при качении (рис.3 и 4); с увеличением проскальзывания коэффициенты трения увеличиваются по сравнению с чистым качением для всех трибосопряжений (рис.5 и табл.2); меньшими коэффициентами трения обладают трибосопряжения, смазываемые при скольжении - ПСМ «Литол-24», качении – «ЕР-2», качении с 10% проскальзыванием – «Ранол-03-01», качении с 20% проскальзыванием – «ЕР-2».

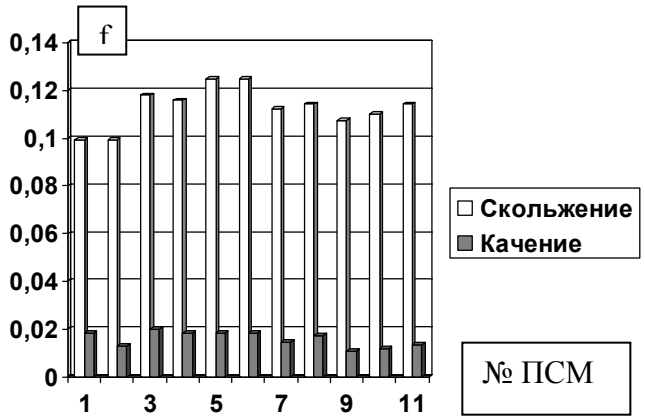


Рис.3. Коэффициенты трения скольжения и качения для трибосопряжения «сталь-сталь» при смазывании различными ПСМ: 1-Литол-24М; 2- Графитная; 3-Шрус-4М; 4- Солидол синтетический; 5- Солидол жировой; 6-№ 158М; 7- Liqui Moly; 8- Mannol; 9-ЕР-2; 10- Ранол-03-01; 11- Ранол-03-02.

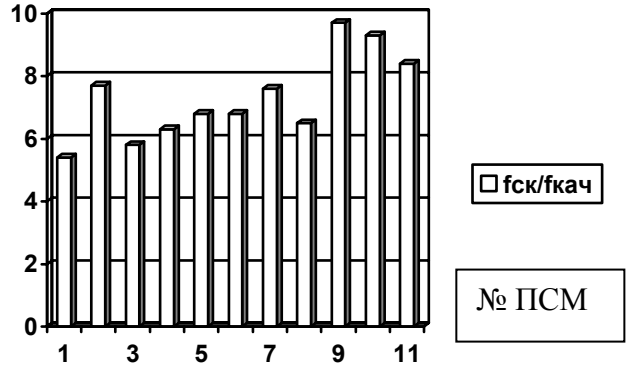


Рис.4. Гистограмма распределения отношений коэффициентов трения скольжения и качения для трибосопряжения «сталь-сталь» при смазывании различными ПСМ (нумерация ПСМ соответствует приведенной на рис.3).

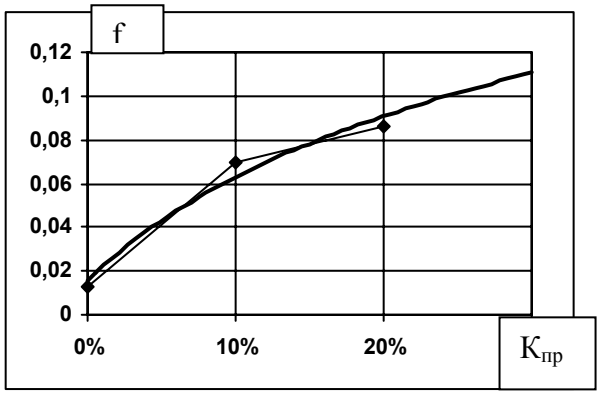


Рис.5. Характер влияния коэффициента проскальзывания $К_{пр}$ на коэффициент трения при качении трибосопряжения «сталь-сталь» при смазывании на примере ПСМ №5 (см.рис.3).

Таблица2

Характеристики трения при использовании различных ПСМ

№ п/п	Типы ПСМ	Коэффициент трения при наличии проскальзывания		
		0%	10%	20%
1	Литол-24М	0,0184	0,090	0,0956
2	Графитная	0,0129	0,070	0,0864
3	Шрус-4М	0,0202	0,0919	0,1022
4	Солидол синтетический	0,0184	0,090	0,0919
5	Солидол жировой	0,0184	0,0871	0,0937
6	№ 158М	0,0184	0,0901	0,0974
7	Liqui Moly	0,0147	0,0827	0,1066
8	Mannol	0,0176	0,0845	0,0919
9	EP-2	0,0110	0,0783	0,079
10	Ранол-03-01	0,0118	0.0698	0,0809
11	Ранол-03-02	0,0136	0,0654	0,0827

Для чугунных сопряжений, таких как, подшипники скольжения, направляющие скольжения и качения, работающих при однократном смазывании, коэффициенты трения ниже, чем у стальных трибосопряжений при применении как российских, так и зарубежных ПСМ наблюдается некоторое нивелирование коэффициентов трения для различных видов ПСМ при качении (рис.6). С увеличением проскальзывания коэффициенты трения увеличиваются по сравнению с чистым качением, так же, как и в случае исследования стальных трибосопряжений; меньшими коэффициентами трения обладают трибосопряжения, смазываемые при скольжении - ПСМ «Литол-24», качении – «Ранол-03-02», качении с 10% проскальзыванием – «Графитная», качении с 20% проскальзыванием – «Графитная».

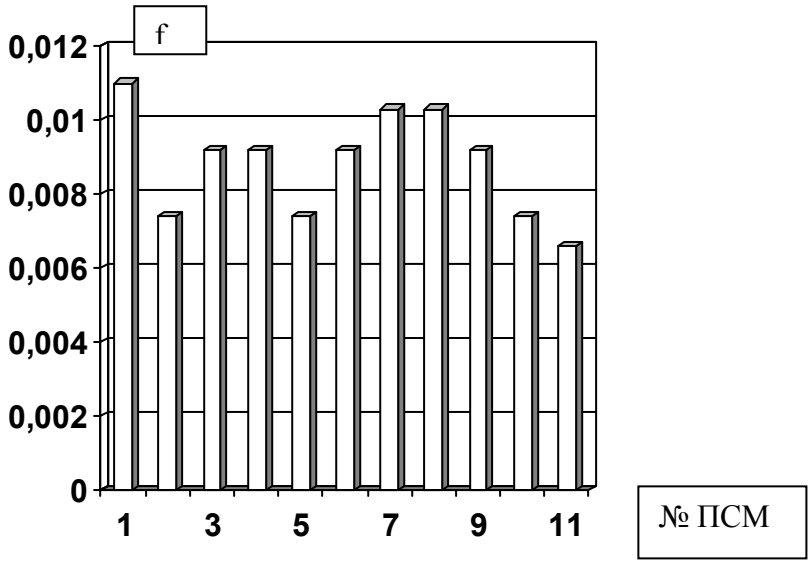


Рис.6. Коэффициенты трения качения для трибосопряжения «чугун-чугун» при смазывании различными ПСМ (нумерация ПСМ соответствует приведенной на рис.3).

Для сопряжений «чугун-сталь», работающих при однократном смазывании при применении как российских, так и зарубежных ПСМ, коэффициенты трения (рис.7) ниже, чем у стальных трибосопряжений (см.рис.3), но выше, чем у трибосопряжений типа «чугун-чугун» (см.рис.6). При этом наблюдается большой разброс значений коэффициентов трения качения – от 0,0055 до 0,0147. С увеличением проскальзывания коэффициенты трения увеличиваются по сравнению с чистым качением, так же, как и в случае исследования трибосопряжений типа «сталь-сталь» и «чугун-чугун».

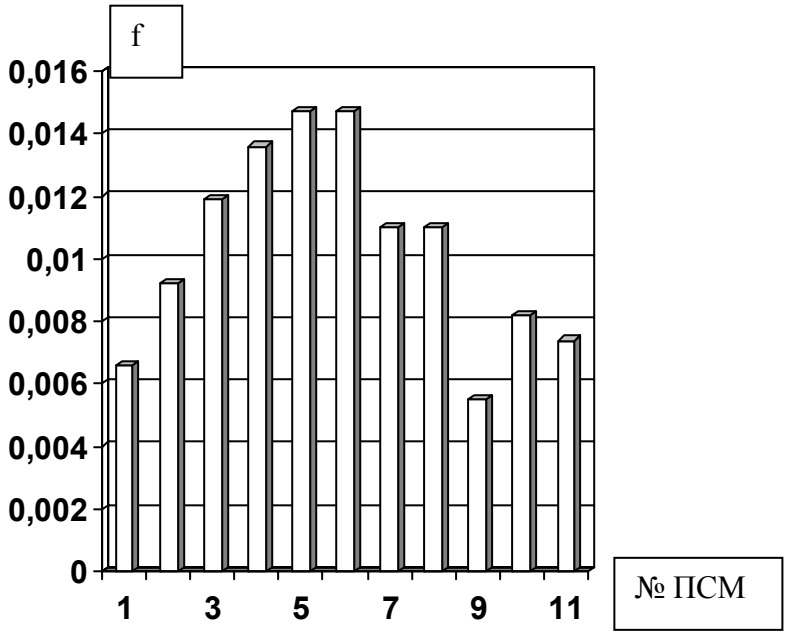


Рис.7. Коэффициенты трения качения для трибосопряжения «чугун-сталь» при смазывании различными ПСМ (нумерация ПСМ соответствует приведенной на рис.3).

Долговечность сопряжений «сталь ШХ15-сталь ШХ15», работающих по принципу качения (подшипники и направляющие качения) в условиях постоянного и обильного смазывания при применении ПСМ «РАНОЛ-03-01 (при нагрузке на шарики в 200 Н) в 4 раза выше, чем у «ЛИТОЛ–24» и в 1,8 и 2 раза

выше, чем у импортных смазочных материалов «Liqui Moly» и «Mannol» соответственно (рис.8). Трибосопряжения имеют наибольшую задиростойкость при применении «Ранол-03-01» и «Шрус- супер»: в 1,13 выше, чем при смазывании ПСМ «Шрус синтетический» и в 1,6 раза выше, чем при смазывании ПСМ «Графитная» (рис.9).

Исследование трибосопряжений «сталь45-сталь Р6М5» показало, что при малых нагрузках наибольшую их долговечность обеспечивает применение ПСМ «Ранол-03» (рис.10). При увеличении нагрузки до 600 Н разница между эффективностью всех 5 ПСМ нивелируется. Эти сведения могут быть использованы как предварительные при исследовании процессов сверления, зенкерования, развертывания и резьбонарезания.

Долговечность сопряжений, работающих по принципу скольжения (направляющие и подшипники скольжения, режущие инструменты при механической обработке) при условии их смазывания различными смазочными материалами, может быть повышена за счет применения:

а) ПСМ «Литол-24» - для пары трения «сталь20-сталь20» при однократном смазывании при скорости скольжения 0,5 м/с и нагрузке 400 Н для негерметичного соединения (вал-втулка для неответственных сопряжений вспомогательного оборудования) (рис.11);

б) смазочные композиции «Ранол-03» для пары трения «сталь45-сталь45» при постоянном смазывании при скорости скольжения 0,5 м/с при работе в широком диапазоне нагрузок (рис.12).

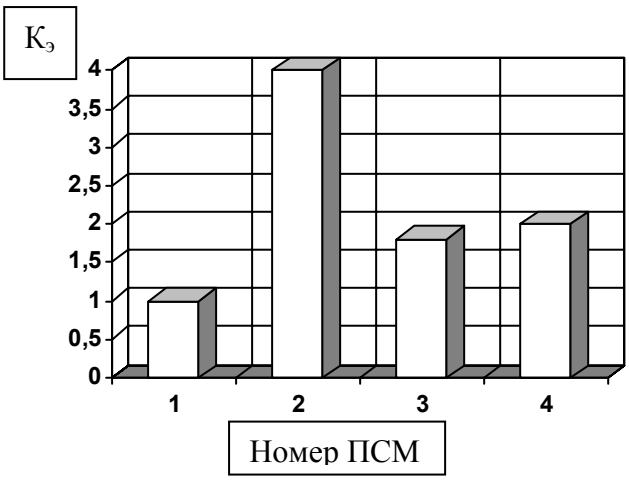


Рис.8. Коэффициент эффективности применения ПСМ для трибосопряжения «сталь ШХ15-сталь ШХ15» при качении при нагрузке 200 Н;
1- Литол-24М; 2- Ранол-03-01; 3- Liqui Moly; 4- Mannol.

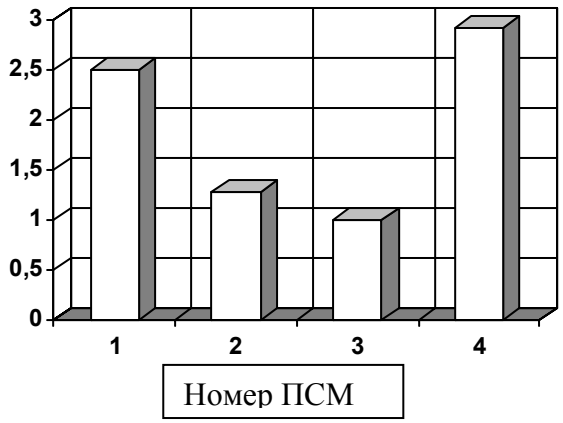
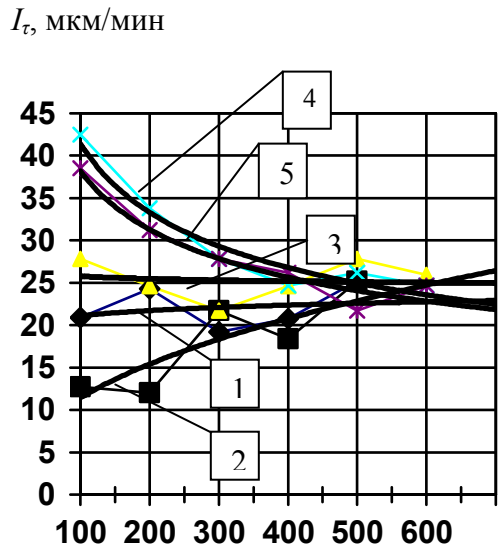
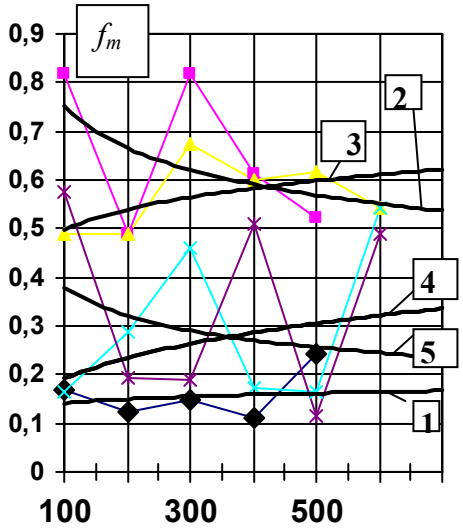


Рис.9. Влияние различных ПСМ на относительную задиростойкость трибосопряжения «сталь ШХ15 - сталь ШХ15» при качении при нагрузке 1780 Н: 1- Графитная; 2- Шрус синтетический; 3- Шрус супер; 4- Mannol.

В четвертой главе описаны материалы по практическому использованию результатов исследований в промышленности и учебном процессе учебных заведений высшей школы.

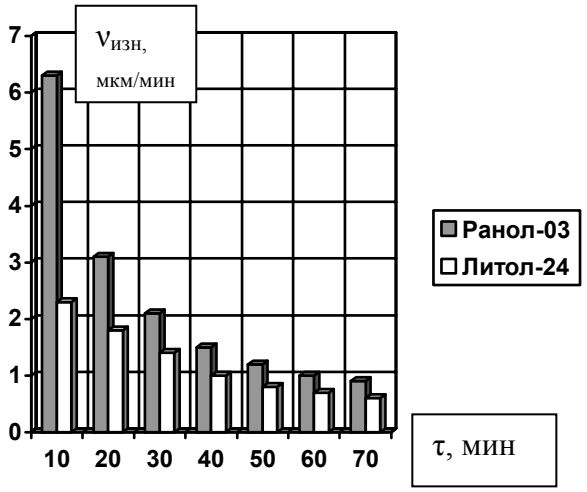


а)

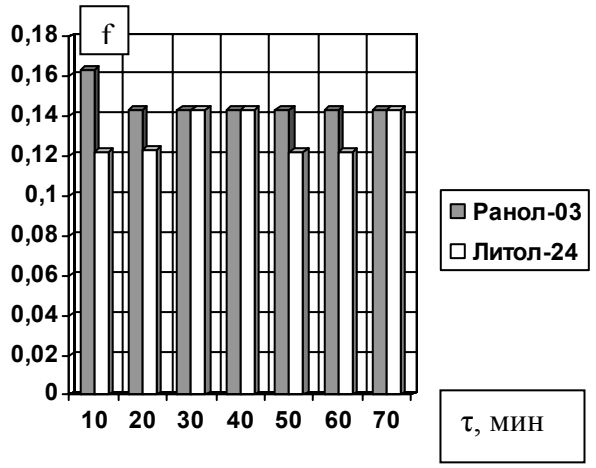


б)

Рис.10. Зависимость скорости изнашивания неподвижных роликов из стали Р6М5 (мкм/мин) (а) и коэффициента трения скольжения (б) пары трения «сталь 45-сталь Р6М5» от нагрузки при продолжительности испытаний 180 с и скорости скольжения 0,5 м/с при однократном смазывании ПСМ: 1 - «Литол-24»; 2 - «Ранол-03-01»; 3 - «Литол-24 + Mo_2S»; 4 - «Литол-24+ графит»; «Литол-24 + УДС».

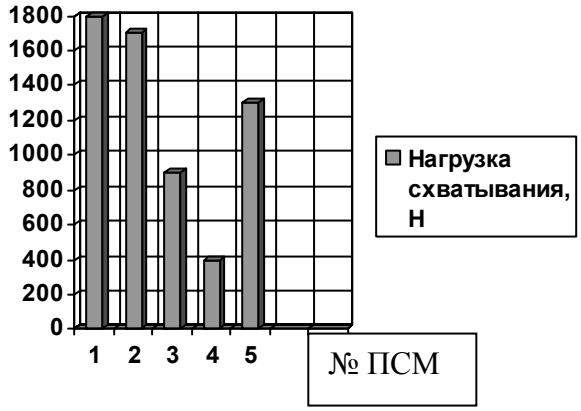


а)

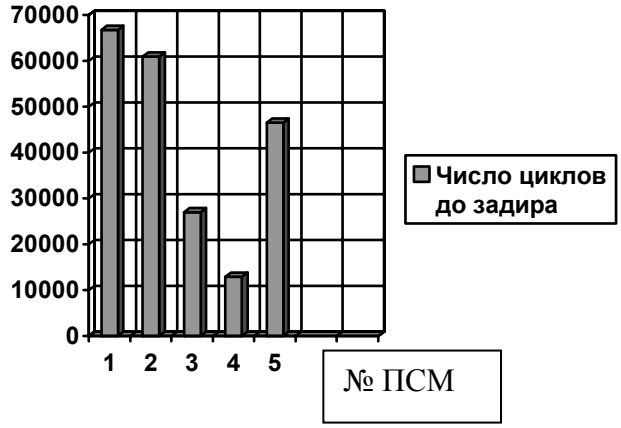


б)

Рис.11. Зависимость скорости изнашивания неподвижных роликов (мкм/мин) (а) и коэффициента трения скольжения (б) пары трения «сталь20-сталь20» от продолжительности испытаний (мин) при однократном смазывании двумя типами ПСМ



а)



б)

Рис.12. Влияние различных ПСМ на схватывание (а) и задир (б) трибосопряжения «сталь45-сталь45» при испытании в режиме «диск-колодка» при постоянном смазывании при скорости скольжения 0,5 м/с: 1 – «Ранол-03-02», 2 - «Ранол-03-01», 3 – «Литол-24», 4 – «Графитная смазка», 5 – «Шрус-4».

ВЫВОДЫ

1. Разработан комплексный метод оценки эксплуатационных параметров ОМО, обеспечивающих выполнение заданных технологических операций механической обработки и качества обработки деталей, основанный на учете физико-химических свойств ПСМ.

2. Установлены закономерности изменения эксплуатационных показателей механизмов ОМО, работающих по принципу качения, скольжения и качения с проскальзыванием, при смазывании ПСМ.

3. Показано, что наиболее эффективными с точки зрения повышения работоспособности оборудования являются ПСМ на литиевой основе. Выявлено позитивное влияние геомодификаторов трения, вводимых в ПСМ, на повышение долговечности трибосопряжений.

4. Сформулировано уточнение известной математической модели изнашивания трибосопряжений ОМО.

5. Разработана и обоснована методика выбора эффективных ПСМ для конкретных условий эксплуатации механизмов, позволяющая повысить надежность ОМО.

6. Установлены физико-химические свойства широко применяемых ПСМ, влияющие на эксплуатационные показатели механизмов ОМО.

7. Даны рекомендации по оценке влияния ПСМ на долговечность ОМО.

8. Разработаны рекомендации по использованию результатов исследований при конструировании станочного оборудования, при проектировании технологических процессов механической обработки заготовок и при ремонте оборудования, а также по использованию в учебном процессе.

Опубликованные работы по теме диссертации.

1. Чулкин С.Г., Алексеев С.П. Повышение долговечности подшипников качения оборудования механической обработки //Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: Материалы 8-й Международной практической конференции-выставки. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – с.

2. Чулкин С.Г., Федосов А.В., Алексеев С.П. Исследование пластичных смазочных материалов для металлорежущих станков и вспомогательного оборудования // Инструмент и технологии, 2006. - №24-25. - с. 214-216.

3.Алексеев С.П., Федосов А.В. Комплексный подход при оценке потерь на трение в металлорежущих станках за счет применения новых смазочных композиций и конструкционных материалов //Повышение износостойкости и долговечности машин и механизмов на транспорте: Труды третьего международного симпозиума по транспортной триботехнике «Транстрибо-2005». – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. – с. 1-12.

4. Чулкин С.Г., Алексеев С.П. Разработка комплексной программы исследования смазочно-консервирующего материала «РАНОЛ-03».//Повышение износостойкости и долговечности машин и механизмов на транспорте: Труды третьего международного симпозиума по транспортной триботехнике «Транстрибо-2005». – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005 г., с.286-291.

5. Чулкин С.Г., Алексеев С.П. Триботехнические испытания смазочно-консервирующего материала «РАНОЛ-03» //Повышение износостойкости и долговечности машин и механизмов на транспорте: Труды третьего междуна-

родного симпозиума по транспортной триботехнике «Транстрибо-2005». – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005 г., с.302-312.

6. Чулкин С.Г., Алексеев С.П., Сиротенко А.А. Некоторые результаты исследования физико-химических свойств смазочно-консервирующего материала «РАНОЛ-03» //Повышение износостойкости и долговечности машин и механизмов на транспорте: Труды третьего международного симпозиума по транспортной триботехнике «Транстрибо-2005». – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. – с. 292-301.

7. Алексеев С.П., Федосов А.В. Чеботарев А.В. Комплексное исследование влияния препаратов, снижающих трение, и новых смазочных материалов на эксплуатационные параметры качества ответственных деталей судовых механизмов и машин // Труды научной конференции студентов и аспирантов. – СПб.: ИПЦ СГУВК, 2004. – с. 62-63.

8. Чулкин С.Г., Алексеев С.П. Правильный выбор смазочных материалов – один из путей повышения надежности и ремонтопригодности станков и вспомогательного оборудования //Инструмент и технологии, 2004. - №21-22. - с.138-142.

9. Войнов К.Н., Алексеев С.П., Громский Б.В. Износ и надёжность трибосопряжений // Инструмент и технологии, 2003. - №11-12. - с. - 73-77.

10. Войнов К.Н., Алексеев С.П., Громский Б.В., Синюгин О.В. О роли смазки и проблемах в зоне трения при резании. //Вопросы материаловедения, 2003, с. 3.

11. Войнов К.Н., Алексеев С.П., Громский Б.В., Казак А.В. Обеспечение надежности и износостойкости ответственных пар трения в транспортных системах //Сборник докладов международного конгресса «Механика и трибология транспортных систем -2003», сентябрь 2003 г. в 2-х т. – Ростов на Дону: РГУПС, 2003, т.1. – с.202-204.

12. Алексеев С.П. Пример обработки данных о ремонтопригодности деталей машин.//Инструмент и технологии, 2002. - №7-8. - с. 171-173.

13. Войнов К.Н., Алексеев С.П., Громский Б.В., Лукьянчиков В.П., Некоторые положения, связанные с использование пластичных, порошковых и жидких смазок.// «ТРАНСТРИБО-2002», 2002 г., с.13-15.

14. Войнов К.Н., Васильков Д.В., Алексеев С.П. Об одном из способов повышения качества поверхностного слоя.//СПб, ПИМаш, 2002г., с.65-66.

15. Войнов К.Н., Шварц М.А., Алексеев С.П., Громский Б.В. Некоторые варианты нелинейной аппроксимации износа деталей машин и механизмов.//Инструмент и технологии, 2003 г. №7. – с.6.

16. Алексеев С.П. Применение специальных технологических приемов при обработке заготовок.// Инструмент и технологии, 2003г., №15-16. с.10-12.