

УДК 621.791

В.Л. БАСИНЮК, д-р техн. наук

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

Т.М. КАДИЛЬНИКОВА

Полесский государственный университет, г. Пинск, Республика Беларусь

О.М. ЕЛОВОЙ, канд. техн. наук

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

С.Б. ШКОЛЫК; Н.Н. БУЛАВИЦКИЙ; А.О. ЕРМАК

ОАО «Планар», г. Минск, Республика Беларусь

А.А. ГЛАЗУНОВА

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА МНОГОКООРДИНАТНЫХ ПРЕЦИЗИОННЫХ СИСТЕМ ТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ. ЧАСТЬ 2. МОНИТОРИНГ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В работе изложены методические подходы к организации мониторинга технического состояния и техническому обслуживанию прецизионного оборудования, обеспечивающему поддержание требуемого уровня качества технически сложных многокоординатных прецизионных систем точного электронного машиностроения при их эксплуатации.

Ключевые слова: качество, мониторинг, многокоординатная прецизионная система, надежность, эксплуатация

Введение. Надежность технически сложного наукоемкого оборудования точного электронного машиностроения определяется не только и не столько отказом его основных компонентов, сколько потерей этим оборудованием точностных характеристик [1]. Более того, требования к этим характеристикам постоянно повышаются и в ближайшие 7–10 лет существенно возрастут, что хорошо иллюстрируется требованиями к параметрам кристаллов, лежащих в основе современных микросхем (таблица).

Исследования и разработки в области совершенствования прецизионного оборудования точного электронного машиностроения проводятся практически во всех индустриально развитых странах [2]. Эти работы проводятся на предприятиях СНГ. При этом можно отметить следующее:

- в процессе эксплуатации прецизионного оборудования точного электронного машиностроения на предприятиях накапливается значительный объем информации, однако в ряде случаев он не систематизирован и хотя информация поступает периодически, зачастую она носит разрозненный характер, что не дает возможности получать целостное и объемное представление

- о состоянии объекта исследования на данный момент времени;

- в современных системах управления при накоплении значительных объемов информации широко используют банки данных и применяют управляющие алгоритмы, что значительно повышает эффективность функционирования прецизионного оборудования и сокращает время для оперативного принятия управленческих решений, однако необходима более системная разработка, позволяющая принять технически и экономически обоснованное решение;

- в настоящее время имеется множество терминологических противоречий в нормативных и инструктивных документах, относящихся к диагностике прецизионного оборудования, что вызывает необходимость разработки дифференцированных подходов к оценке их безотказности, долговечности и ремонтпригодности, учитывающих конкретизированные особенности прецизионного оборудования точного электронного машиностроения.

Анализ приведенных выше тенденций показывает, что в основном они ориентированы на создание оборудования, отвечающего современным и перспективным

Таблица — Требования к параметрам кристаллов

Характерный параметр	Существующая типовая норма	Перспективные требования на ближайшие 10 лет
Размеры кристалла, мм	10 × 10	1 × 1
Топологическая норма, нм	22	4
Толщина полупроводниковой пластины, мкм	50÷300	20÷30
Точность координатных перемещений, мкм	10	1
Скорость перемещения, мм/с	100	1000

требованиям к качеству. Вместе с тем, решение этой задачи с учетом приведенных в таблице параметров невозможно без последующей организации эффективного мониторинга параметров функционирования и технического обслуживания этого оборудования.

Цель исследований — разработка теоретических основ обеспечения качества многокоординатных прецизионных систем точного электронного машиностроения путем организации эффективного мониторинга параметров его функционирования и технического обслуживания в эксплуатации.

Методика исследований и разработки. Исследования проводились на выбранных в качестве базового оборудования ОАО «Планар» автоматах для зондового контроля и разделения полупроводниковых пластин на кристаллы.

С учетом этого осуществлялись:

- анализ конструктивных особенностей выбранных в качестве базовых установок;
- построение подсистемы оценки технического состояния автоматов зондового контроля;
- математическое моделирование мониторинга при проектировании систем зондового контроля.

Результаты исследований и их обсуждение. Общий вид установок и их конструктивные особенности приведены на рисунке 1. В их состав входит значительное число приводных систем. Например, автомат для разделения полупроводниковых пластин на кристаллы (см. рисунок 1 б) состоит из 19-ти основных электроприводов, в состав которых входят:

- 4 двигателя постоянного тока;
- 11 шаговых двигателей;
- 2 синхронных поворотных двигателя;
- 2 асинхронных двигателя.

При функционировании этих автоматов используется ряд программно-управляемых электроприводов сервисных устройств (подачи охлаждающей жидкости, очистки и подачи сжатого воздуха и т. п.), работа которых существенно влияет на качество резки. Структурно подсистема оценки их технического состояния состоит из нескольких модулей (рисунок 2):

- модуль просмотра и визуализации параметров и сигналов в режиме реального времени;
- модуль формирования упрощенных математических моделей и аппроксимирующих уравнений;
- модуль расчета эквивалентной наработки и характеристик повреждаемости за время функционирования.

В ее основу положен корреляционный анализ и аппроксимация. Используются два основных режима:

- режим постановки задачи «Формирование»;
- режим расчета и визуального просмотра качества описания «Просмотр».

В режиме «Просмотр» после выбора необходимого объекта и аппроксимирующей модели, сформулированной в нем ранее, производится считывание всех необходимых для построения модели параметров и сигналов в реперных точках, после чего формируется корреляционная матрица.

Качество описания оценивается коэффициентом корреляции, среднеквадратичным отклонением и другими критериями.

В системе используется специальный математический редактор, в состав которого в качестве функциональных задач входят [3]:

- задачи корреляционного анализа, аппроксимации и селекции моделей для описания характеристики применимости и других характеристик технического состояния;
- задачи вычислительной математики для решения линейных, нелинейных, дифференциальных и интегральных уравнений и систем;
- вычислительные элементы и специальные функции, которые предназначены для формирования различных моделей расчета;
- методы математической статистики и планирования эксперимента для обработки экспериментальных данных и результатов моделирования;
- методы вероятностного анализа для формирования и отладки представленных моделей.

Использование математического редактора позволяет достаточно быстро производить анализ расчетов на прочность, долговечность и надежность электроприво-

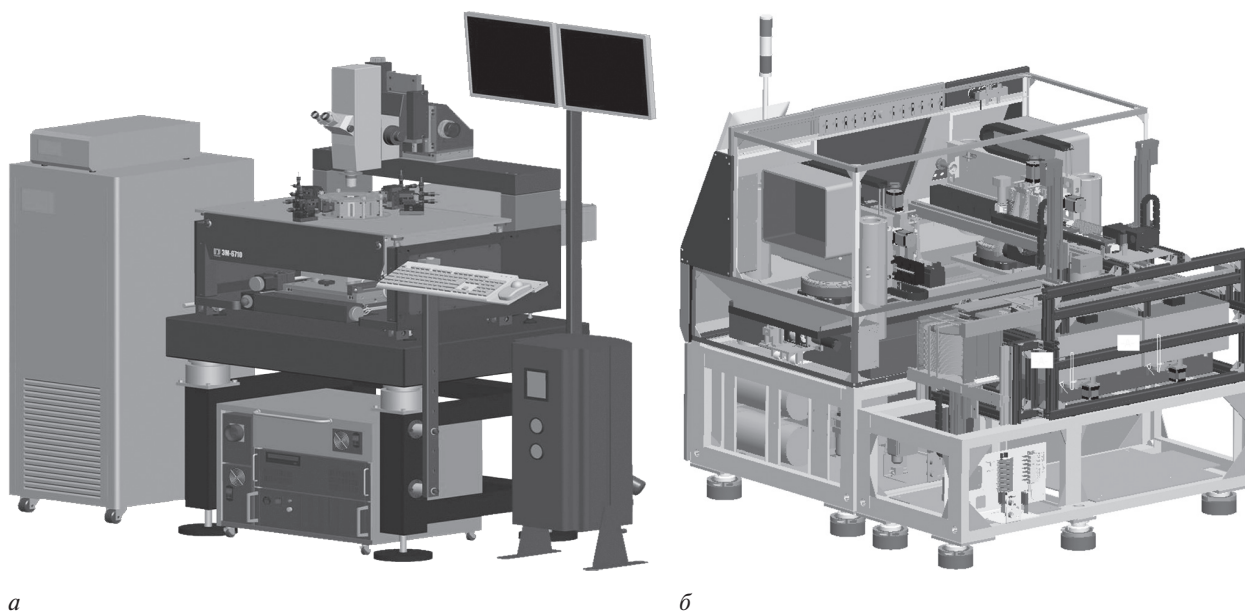


Рисунок 1 — Автоматы для зондового контроля (а) и разделения полупроводниковых пластин на кристаллы (б)

дов оборудования в комплексе с первичной информацией, поступающей от систем контроля.

Создание обоснованной математической модели системы диагностирования связано с наличием упрощенных математических моделей поведения объекта исследований и возникновением различных опасных режимов функционирования. При этом математическая модель может быть как детерминированной, так и статистической (модель «черного ящика»).

Создание адекватной математической модели, как детерминированной, так и статистической, осуществ-

ляется при наличии данных мониторинговых наблюдений, необходимых для построения модели. Построение адекватной математической модели мониторинговой системы может иметь итерационный характер.

Схематически, процесс математического моделирования можно проиллюстрировать следующей схемой, показанной на рисунке 3.

В результате проведенных мониторинговых исследований в ряде случаев может возникнуть проблема обеспечения процесса оптимального принятия решения. Для ее решения, как правило, необходимо созда-

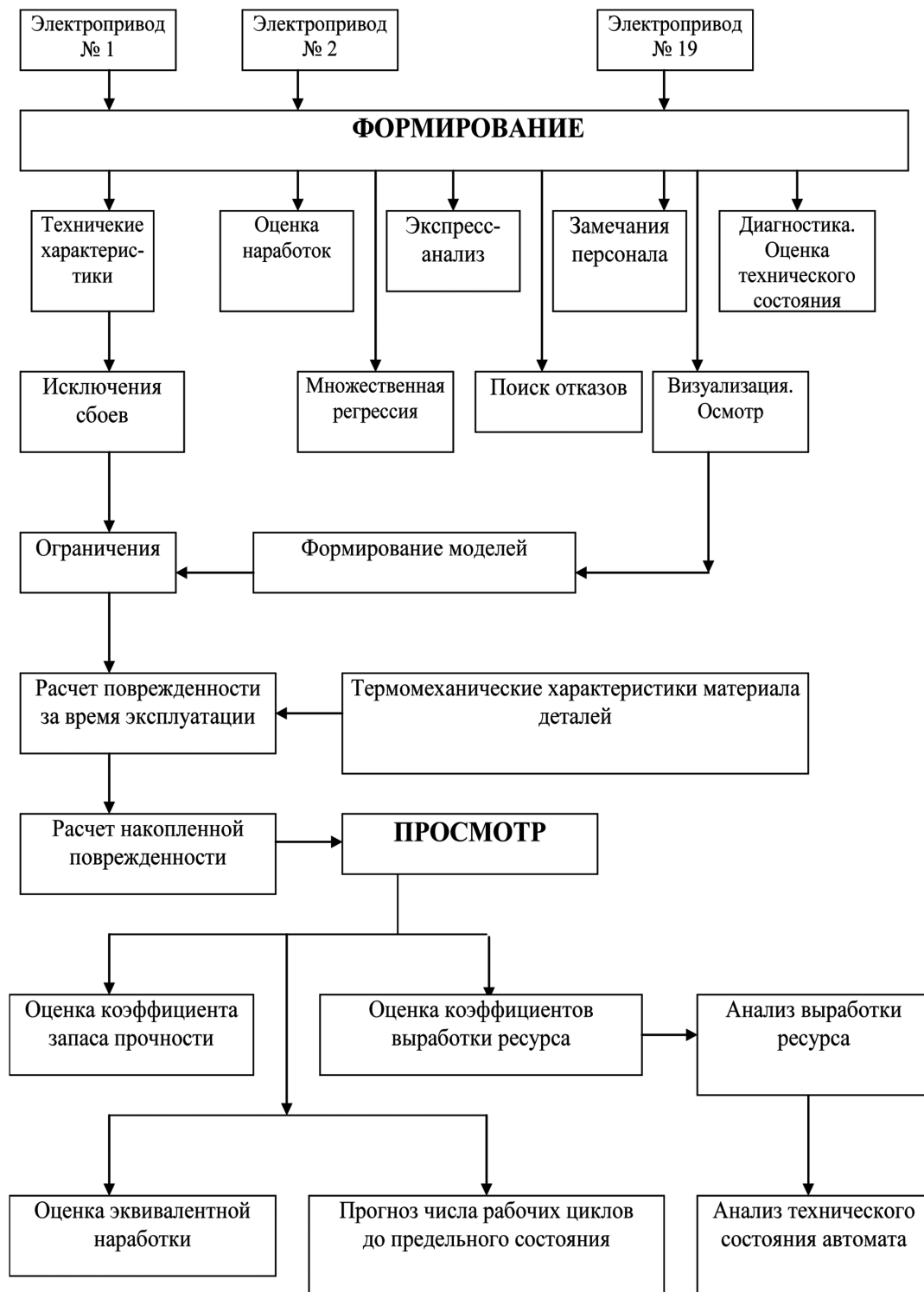


Рисунок 2 — Алгоритм выработки ресурса оборудования

ние автоматизированных рабочих мест для автоматизированного анализа результатов мониторинговых исследований, оснащенных современной вычислительной техникой. Это позволяет:

- подключать специалистов (экспертов) для принятия решения в диалоговом режиме, опираясь на предшествующие и текущие результаты;
- использовать априорную информацию и экспертные оценки;
- инициировать вопросы к экспертам в форме естественной для их предметной области;

- обращаться к опыту решенных задач и к банкам справочной информации.

Предварительное моделирование объекта исследований позволяет на фазе проектирования системы мониторинга оценить затраты, которые необходимо будет понести для достижения целей экспериментов. Это позволяет принять технически и экономически обоснованное решение о целесообразности мониторинговых исследований и их возможном (необходимом) объеме для получения адекватных выводов о техническом состоянии машин.



Рисунок 3 — Структурная схема математического моделирования при проектировании и разработке систем мониторинга

Заклучение. Повышение требуемого уровня качества технически сложных многокоординатных прецизионных систем точного электронного машиностроения при их эксплуатации, подготовка соответствующих документов по результатам мониторинга, обработка больших объемов информации наиболее эффективны при использовании автоматизированной системы, позволяющей оперативно принимать наиболее рациональные управленческие решения, и тем самым существенно сократить сроки подготовки рекомендаций по устранению выявленных нарушений в параметрах функционирования.

Проведенные в этом направлении исследования показали, что применение информационных технологий для автоматизированного диагностирования и обработки информации существенно повышает информативность мониторинга.

Смысловая перегруппировка нормативной информации и формирование информационной базы данных

на мониторинговой основе позволяет контролировать выполнение задачи от ее постановки до выдачи результатов, изменять и модифицировать код решения, тем самым расширить область автоматизации благодаря возможности активно воздействовать на ход решения задачи.

Список литературы

1. Карвальо, А.А. Эксплуатационный мониторинг запасов прочности деталей газовых турбин авиадвигателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.14 / А.А. Карвальо. — Киев, 2002. — 220 с.
2. Хансен, Г. Базы данных: разработка и управление / Г. Хансен, Д. Хансен. — М.: Бином, 1999. — 547 с.
3. Кадильникова, Т.М. Методология проектирования системы мониторинга и практическая организация мониторинговых исследований / Т.М. Кадильникова, Е.Е. Запороженко // Системные технологии. — 2004. — № 2(31). — С. 7–18.

Basiniuk U.L., Kadilnikova T.M., Yelovoy O.M., Shkolyk S.B., Bulavitsky N.N., Yermak A.O., Hlazunova H.A.

Theoretical foundations of quality assurance of multi-coordinate precision systems of precision electronic mechanical engineering. Part 2. Monitoring and operation maintenance

The paper presents methodological approaches to the organization of monitoring of technical condition and to the maintenance of precision equipment providing the required level of quality of the technically complex multi-coordinate precision systems of precision electronic mechanical engineering at their operation.

Поступил в редакцию 17.07.2018.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Выпуск 7

Издается с декабря 2012 г.

Выходит один раз в год

Минск 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

- НАСКОВЕЦ А.М., ПАРХОМЧИК П.А., ЕГОРОВ А.Н., ШИШКО С.А., МОИСЕЕНКО В.И.*
Современное развитие карьерного транспорта производства ОАО «БЕЛАЗ» 8
- БОГДАНОВИЧ А.В., ЖУРАВКОВ М.А., ЩЕРБАКОВ С.С., СОСНОВСКИЙ Л.А.,
БАСИНЮК В.Л., ЕЛОВОЙ О.М.*
Персональный испытательный центр: инновационный подход
в экспериментальной механике 12
- ЩЕРБАКОВ С.С.*
Механотермодинамика и трибофатика: достижения и перспективы 18

МЕХАНИКА МОБИЛЬНЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

- ТУМАСОВ А.В., ВАШУРИН А.С., ТОРОПОВ Е.И., МОШКОВ П.С.*
Оценка устойчивости автомобилей, оснащенных электронными системами
помощи водителю, по результатам виртуально-физических испытаний 27
- ДЕРЖАНСКИЙ В.Б., ТАРАТОРКИН И.А., ТАРАТОРКИН А.И.,
ВОЛКОВ А.А., ЯКОВЛЕВ А.Г.*
Совершенствование модели криволинейного движения гусеничной машины 32
- ТАРАТОРКИН И.А., АНИЩЕНКО Г.А., ДЕРЖАНСКИЙ В.Б.,
ТАРАТОРКИН А.И., ТРУСЕВИЧ И.А.*
Управление акустическим излучением трансмиссии
посредством корректировки модальных показателей ее картера 36
- ВАШУРИН А.С., ВАСИЛЬЕВ А.А., БУТИН Д.А., ПОРУБОВ Д.М.*
Исследование подвижности транспортных средств высокой проходимости
на гусеничном движителе по результатам виртуальных испытаний 40

НАТРИАШВИЛИ Т.М., МЕБОНИЯ С.А.

Определение сил ударного взаимодействия зубьев шестеренных валков прокатного стана 45

КРАСНЕВСКИЙ Л.Г.

Автоматические трансмиссии. Технология «Clutch-to-Clutch Shifts»: практика применения 48

МАЖЕЙ А.А., ЕЛЕНСКИЙ П.Г.

Перспективная модульная система сбора параметров работы транспортных средств и анализа дорожной обстановки 60

ГУРЕВИЧ В.Л., ЖАГОРА Н.А.

О пересмотре основных единиц в системе СИ и способах их воспроизведения 63

КАПЛИН Н.В., САВЧИЦ А.Г.

Сравнительный анализ методов мониторинга функционального состояния водителя 66

КАПЛЮК И.И.

Моделирование контактного взаимодействия токосъемника и контактного провода с учетом тепловых процессов 71

ШИМАНОВСКИЙ А.О., САХАРОВ П.А., КОВАЛЕНКО А.В.

Моделирование продольной динамики поезда в среде программного комплекса MSC.ADAMS 75

ДЖАСОВ Д.В., ВЫРСКИЙ А.Н., ЧУПРЫНИН Ю.В.

Анализ кинематики механизма привода системы очистки зерноуборочного комбайна КЗС-10К 79

ШКОЛЫК С.Б., ЕЛОВОЙ О.М., БУЛАВИЦКИЙ Н.Н., ЕРМАК А.О., КОЗИНЕЦ А.В., ГЛАЗУНОВА А.А.

Основные тенденции развития зондового оборудования точного электронного машиностроения 83

ШКОЛЫК С.Б., ЗАЙЦЕВ В.А., ЦЫРКУН Д.П., ВОЛКОТРУБ Р.Е.

Некоторые особенности прецизионной планаризации пластин 86

ПОДДУБКО С.Н., ШМЕЛЕВ А.В., ИВЧЕНКО В.И., ОМЕЛЮСИК А.В., БОРБОВСКИЙ М.Ю.

Методические основы проектирования мобильных демпферных устройств для снижения тяжести последствий ДТП с участием машин дорожных служб 90

КОЛЕСНИКОВИЧ А.Н., ВЫГОННЫЙ А.Г.

Устойчивость прицепного автопоезда повышенной длины (25,25 м) при прямолинейном движении 96

ВЫГОННЫЙ А.Г., ЛОПУХ Д.Г., КОЛЕСНИКОВИЧ А.Н., ШМЕЛЕВ А.В., КРАВЧЕНКО А.Л., ШАКИН Р.В.

Оценка влияния неточностей вертикального расположения кронштейнов подвески самосвала на неравномерность их нагруженности 101

ОМЕЛЮСИК А.В., ШМЕЛЕВ А.В.

Методические рекомендации по подготовке компьютерной модели автобуса для расчетной оценки силовой структуры на соответствие нормативным требованиям безопасности 105

КУХАРЕВ А.А., ХИТРИКОВ С.В.

Методика построения логистической модели кластерного типа для доставки сборочных узлов и комплектующих деталей крупного промышленного предприятия 112

СТРОК Е.Я., БЕЛЬЧИК Л.Д., АНАНЧИКОВ А.А., АЛЕКСАНДРОВА Т.Л.

Построение активной системы контактного копирования рельефа поля..... 115

ДУБОВСКИЙ В.А., САВЧЕНКО В.В., БОРИСКЕВИЧ А.А.

Синергетический подход к организации взаимодействия бортовых систем транспортного средства..... 121

ХОЛОД Е.А., КАРПУК Н.В., КУЗЬМИЧЕВ В.А.

Структура блока коммутации для коммерческого транспорта нового поколения 124

ЛИТАРОВИЧ В.В., МЫЛЬНИКОВ Е.В., ЧЕРНИН М.А.

Разработка критериев по определению пространственного положения транспортного средства после аварии 128

НАДЕЖНОСТЬ, ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ МАШИН И КОНСТРУКЦИЙ

КАМЫШНИКОВА О.С., БУХАНЧЕНКО С.Е.

Моделирование несоосности валов технических систем на электромеханическом испытательном стенде 132

КРИВОШЕЕВА Е.А., БУХАНЧЕНКО С.Е.

Моделирование дисбаланса роторного узла технических систем на электромеханическом испытательном стенде 136

САЛАМАНДРА К.Б.

Синтез и статический анализ многопоточных вально-планетарных коробок передач 140

БЕЛАБЕНКО Д.С.

Определение силовой нагруженности трансмиссии при трогании специального колесного шасси с гидромеханической передачей 146

ЛИС И.Н., БОГДАНОВИЧ А.В.

Кинетика и фрактография локальных повреждений при фрикционно-механической усталости трибофатической системы «вал (сталь 45) — вкладыш (силумин)» 153

ТАРАНОВА Е.С.

Влияние смазочного материала на характеристики сопротивления механической усталости 157

ПРУШАК В.Я., ТРОЙНИЧ В.А., ВЫСОЦКАЯ Н.А.

Влияние длительности эксплуатации систем забойного оборудования на их надежность на примере очистного комплекса СЛ-500 162

ВЕСЕЛУХА В.М., БОГДАНОВИЧ А.В.

Локализованное упругопластическое напряженно-деформированное состояние и состояние поврежденности у вершины трещины при внецентренном растяжении..... 166

ТАРАНОВА Е.С., КОМИССАРОВ В.В., ВАСИЛЕНКО М.С., СОСНОВСКИЙ Л.А.

Обобщенный критерий предельного состояния при трении качения и его использование применительно к зубчатым зацеплениям..... 171

<i>ХМУРОВСКАЯ Ю.О., ШТЕМБЕРК П.</i> Применение Rigid-Body-Spring модели для анализа поведения бетонных конструкций под воздействием радиации.....	181
<i>МАТВЕЦОВ В.И.</i> Факторы, влияющие на эксплуатационную стойкость рельсов	186
<i>МАТВЕЦОВ В.И.</i> О повышении надежности и долговечности рельсов Минского метрополитена	190
<i>ЛУСТЕНКОВ М.Е., ЛУСТЕНКОВА Е.С.</i> Совершенствование конструкций сферических передач с промежуточными телами качения	195
<i>ВОРОНИН А.В., ШАНТЫКО А.С., ВЫРСКИЙ А.Н.</i> Снижение динамической нагруженности конструкции крепления зеркал заднего вида сельскохозяйственной машины	199
<i>МАРМЫШ Д.Е., ЩЕРБАКОВ С.С.</i> Гранично-элементное моделирование напряженного состояния при вдавливании штампа в полупространство.....	204
<i>СЕМАШКО В.В., МИКУЛИЧ Д.А., СИЛИН В.В.</i> Биметаллический материал для узлов трения и износа	207
<i>ШИЛЬКО С.В., РЯБЧЕНКО Т.В., ЧЕРНОУС Д.А., ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ Ю.М.</i> Расчетная оценка прочности тонкопленочных полимер-керамических датчиков давления	212
<i>ГАВРИЛЕНКО С.Л., ШИЛЬКО С.В., ПАНИН С.В.</i> Анализ вязкоупругих свойств экструдированных полимерных композиционных материалов на основе полиамидов при термомеханическом воздействии.....	215
<i>ШИЛЬКО С.В., РЯБЧЕНКО Т.В., РОМАНОВИЧ С.И., ЧОЙ Х., ФЕДОСЕНКО Н.Н.</i> Методические особенности испытаний высокопрочных направленно-армированных полимерных композитов для экстремальных условий эксплуатации	219
<i>КАЗУТИН Е.Г., АЛЬГИН В.Б.</i> Применение методики оценки расхода ресурса металлических цистерн пожарных автомобилей	224
<i>РОМАНЕНОК С.Н., САНЬКО А.А., КАЛЯКИН Р.В.</i> Разработка облика информационно-технической системы обеспечения требований к надежности беспилотных летательных аппаратов	227
<i>ПОДДУБКО С.Н., ИШИН Н.Н., ГОМАН А.М., СКОРОХОДОВ А.С., НАТУРЬЕВА М.К.</i> Обоснование параметров силовой установки развозного грузового электромобиля на базе автомобиля МАЗ	230
<i>КУЗНЕЦОВ Е.В., АЛЬГИН В.Б.</i> Многокритериальная оценка многоступенчатых планетарных коробок передач	237
<i>ИШИН Н.Н., ГОМАН А.М., СКОРОХОДОВ А.С., ДАКАЛО Ю.А., НАТУРЬЕВА М.К.</i> Диагностика и мониторинг технического состояния на пути к Индустрии 4.0.....	245
<i>АНТОНЮК В.Е., СОЛОМИНА А.В., АНИСИМОВ В.А.</i> Обоснование условия вращения диска при проектировании установок динамической стабилизации	251

<i>АНТОНЮК В.Е., СКОРОХОДОВ А.С., АЛЕКСАНДРОВА В.С.</i>	
Методические основы программного расчета силовых параметров динамической стабилизации фрикционных дисков	256
<i>АДАШКЕВИЧ В.И., ШАПАРЬ В.А., ТАРАСЕВИЧ И.Ю.</i>	
Регистрация коэффициента трения при триботехнических испытаниях в условиях возвратно-поступательного движения элементов пар трения	261
<i>ПАПИНА С.С., КОВЕНСКИЙ А.Е., МОРОЖАНОВ Е.А., ЛОБКОВА М.П.</i>	
Управление точностью координатных перемещений исполнительного органа натяжением зубчатого ремня при переходных процессах	265
<i>ПАПИНА С.С., ЛОМАКО В.Г., КОВЕНСКИЙ А.Е., МОРОЖАНОВ Е.А., ЛОБКОВА М.П.</i>	
Программно-управляемое гашение механических колебаний в координатных системах.....	268
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА	
<i>ЧИЖИК С.А., ВИТЯЗЬ П.А., ХЕЙФЕЦ М.Л., ГАЙКО В.А., ГОРДИЕНКО А.И., АЛЕКСЕЕВА Т.А., КУХТА С.В.</i>	
Процессы структурообразования в металлах и сплавах при интенсивной обработке и эксплуатации изделий машиностроения	272
<i>КОЛМАКОВ А.Г., КАЛАШНИКОВ И.Е., БОЛОТОВА Л.К., БЫКОВ П.А., КОБЕЛЕВА Л.И., ХЕЙФЕЦ М.Л., ВИТЯЗЬ П.А., ЧИЖИК С.А.</i>	
Триботехнические свойства композиционных материалов на базе сплава системы Al-Sn.....	279
<i>МЯСНИКОВ Ф.В., НОВИКОВ Е.С., КАРПЕНКО К.И.</i>	
Исследование состояния поверхности трения при металлополимерном трибосопряжении нанокompозитов, наполненных микрокапсулами со смазкой	282
<i>БАСИНЮК В.Л., РАДУСИНОВИЧ М., КОВАЛЕВА С.А.</i>	
Антикоррозийные экологически чистые композитные износостойкие покрытия на алюминиевых сплавах	287
<i>ЕЛКИН А.И., АБОРКИН А.В.</i>	
Особенности формирования покрытий при газодинамическом напылении гибридных порошков на подложки различной твердости.....	290
<i>НАСАКИНА Е.О., СУДАРЧИКОВА М.А., СПРЫГИН Г.С., БАСКАКОВА М.И., ФЕДЮК И.М., БЕСПАМЯТНОВА А., БОРИСОВ Н.И., ДАНИЛОВА Е.А., СЕВОСТЬЯНОВ М.А., ГРИГОРОВИЧ К.В., КОЛМАКОВ А.Г.</i>	
Исследование формирования защитного титанового поверхностного слоя при магнетронном распылении в зависимости от геометрии потока	294
<i>АБОРКИН А.В., ЗАЛЕСНОВ А.И., СКРЯБИН И.О., ИЗОБЕЛЛО А.Ю., ВОЛОЧКО А.Т.</i>	
Структурно-фазовый состав и микротвердость порошковых композитов на основе сплавов АМг2 и АМг10, упрочненных микродобавкой гибридных структур Al/МУНТ	297
<i>БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ М.А., БЕЛЯВИН К.Е., СОСНОВСКИЙ И.А., ХУДОЛЕЙ А.Л., КУРИЛЕНКО А.А.</i>	
Технологические особенности изготовления разъемных биметаллических подшипников скольжения, получаемых центробежным индукционным методом	300

*БАСИНЮК В.Л., ЕЛОВОЙ О.М., БУЛАВИЦКИЙ Н.Н., КАДИЛЬНИКОВА Т.М.,
ЕРМАК А.О., ГЛАЗУНОВА А.А.*

Теоретические основы обеспечения качества многокоординатных
прецизионных систем точного электронного машиностроения.

Часть 1. Технологическое обеспечение качества при изготовлении
оборудования точного электронного машиностроения 304

*БАСИНЮК В.Л., КАДИЛЬНИКОВА Т.М., ЕЛОВОЙ О.М., ШКОЛЫК С.Б.,
БУЛАВИЦКИЙ Н.Н., ЕРМАК А.О., ГЛАЗУНОВА А.А.*

Теоретические основы обеспечения качества многокоординатных
прецизионных систем точного электронного машиностроения.

Часть 2. Мониторинг и техническое обслуживание при эксплуатации..... 307

ЛЕВАНЦЕВИЧ М.А., МАКСИМЧЕНКО Н.Н., ПИЛИПЧУК Е.В., ЮРУТЬ Е.Л.

Защитные свойства электродеформационно плакированных покрытий
в расплавах алюминий-цинковых сплавов 312

КОНСТАНТИНОВ В.М., КУКАРЕКО В.А., КОВАЛЬЧУК А.В.

Разработка технологии поверхностного упрочнения деталей
подшипников из среднеуглеродистых сталей химико-термической
обработкой и нанесением нитридных покрытий 315

КОНСТАНТИНОВ В.М., МУРАВЬЕВ К.И., БАРИСКОВ Н.В.

Анализ материаловедческих путей повышения долговечности
инструмента при сферодвижной штамповке цементуемых сталей 322

ГРИДЮШКО Д.В., БРИЖЕВИЧ А.В., ПИСКУН Е.В.

Использование полиуретана в качестве облицовочного
материала для роликов ленточных конвейеров 326

ШЕЛЕГ В.К., ДОВГАЛЕВ А.М.

Исследование триботехнических свойств поверхностей деталей,
упрочненных совмещенным магнитно-динамическим накатыванием 330

ИВАНОВ В.П., ДУДАН А.В., ВИГЕРИНА Т.В.

Состояние ресурсных деталей автомобильных агрегатов,
поступающих в ремонт 335

САНДОМИРСКИЙ С.Г.

Статистический анализ взаимосвязей между механическими
свойствами и твердостью стали 40Х..... 339

КУКАРЕКО В.А., ГРИГОРЧИК А.Н., АСТРАШАБ Е.В.,

БАРАНОВСКИЙ К.Э., ЛУЩИК П.Е.

Структурно-фазовое состояние и дюрометрические свойства
отливок экспериментальных чугунов для насосного оборудования 342

РУДЕНКО С.П., ВАЛЬКО А.Л., САНДОМИРСКИЙ С.Г.

Оценка применимости экономно-легированных сталей
для высоконапряженных зубчатых колес 346

КУКАРЕКО В.А., КУШНЕРОВ А.В., САЧИВКО Я.С., ЦЫБУЛЬСКАЯ Л.С.

Структурное состояние и износостойкость образцов светопоглощающих
покрытий на алюминиевых сплавах типа Д16, полученных методом
анодного оксидирования..... 350

ЛЕВАНЦЕВИЧ М.А., ПИЛИПЧУК Е.В., МАКСИМЧЕНКО Н.Н.

Совершенствование конструкции устройств для изготовления
композиционных подшипников скольжения на основе баббита..... 353

<i>БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ М.А., ТАРАН И.И., КОТ П.И., АЛЕКСАНДРОВА В.С.</i> Технология нанесения полимерных покрытий с повышенными гидрофобными свойствами.....	357
<i>СЕНЮТЬ В.Т., ВИТЯЗЬ П.А., ПАРНИЦКИЙ А.М., КОВАЛЕВА С.А.</i> Получение наноструктурных композитов инструментального назначения в системе «наноалмаз — кремний»	360
<i>БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ М.А., СОСНОВСКИЙ А.В., ТАРАН И.И., ТРУСОВ Д.И.</i> Формирование металлических покрытий на полимерных материалах методом гиперзвуковой металлизации	366
<i>КОМАРОВ А.И., РОЖКОВА Н.Н., ЗОЛОТАЯ П.С., РОМАНЮК А.С., ИСКАНДАРОВА Д.О.</i> Повышение трибомеханических свойств сплава Д16 керамическим покрытием, модифицированным шунгитовым нанокремнеземом	369
<i>КОМАРОВ А.И., ВИТЯЗЬ П.А., ФРОЛОВ Ю.И., ДЕВОЙНО О.Г., МЕШКОВА В.В.</i> Получение алюмоциркониевой керамики лазерным легированием покрытия, сформированного микродуговым оксидированием	373
<i>КУДЕЛКО И.Ю., СИДОРЕНКО А.Г., МОИСЕЕНКО В.И.</i> Сталь 20ХНЗМА для крупногабаритных подшипников.....	380
<i>СОТНИКОВ М.В., СИДОРЕНКО А.Г., МОИСЕЕНКО В.И.</i> Перспективы замены цементации на ионное азотирование зубчатых колес карьерных самосвалов	384
<i>ТОМАШЕВСКИЙ Д.Г., МОИСЕЕНКО В.И., СИДОРЕНКО А.Г.</i> Оценка волнистости контактирующих поверхностей зубьев крупногабаритных зубчатых передач.....	389
<i>ЗАЙЦЕВ В.А., КОВЕНСКИЙ А.Е., МОРОЖАНОВ Е.А., ЛОБКОВА М.П.</i> Повышение производительности процесса разделения полупроводниковых пластин на кристаллы.....	393
<i>ШКОЛЫК С.Б., КОЗИНЕЦ А.В., ВОЛКОТРУБ Р.Е.</i> Современные аппаратно-программные средства автоматизированной прецизионной обработки	397