

УДК 621.791

В.Л. БАСИНЮК, д-р техн. наук; О.М. ЕЛОВОЙ, канд. техн. наук
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

Н.Н. БУЛАВИЦКИЙ

ОАО «Планар», г. Минск, Республика Беларусь

Т.М. КАДИЛЬНИКОВА

Полесский государственный университет», г. Пинск, Республика Беларусь

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 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОБОРУДОВАНИЯ ТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

В статье изложены методические подходы к обеспечению качества технически сложных многокоординатных прецизионных систем точного электронного машиностроения при его изготовлении, основанные на сложившейся практике обеспечения качества электрических, электронных и электромеханических (ЭЭЭ) компонентов космической техники в Европейском космическом агентстве.

Ключевые слова: качество, многокоординатная прецизионная система, надежность, проектирование, изготовление

Введение. Анализ сложившейся практики создания технически сложных изделий в наукоемких сферах индустриально развитых стран показывает, что для обеспечения их высокого качества, включая надежность, необходима реализация определенного комплекса мероприятий, проводимых в течение всего периода ее жизненного цикла. Эти мероприятия, как правило, включают (рисунок 1):

- установление технически обоснованных требований к качеству до начала работы и их уточнение в процессе жизненного цикла изделия;
- назначение и обеспечение определенных требований и норм проектирования;
- испытания и доводка изделия;
- обеспечение требований к качеству при изготовлении и хранении компонентов и изделий в целом;

ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА МНОГОКООРДИНАТНЫХ СИСТЕМ ТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ



Рисунок 1 — Основные мероприятия по обеспечению качества

- мониторинг технического состояния, техническое обслуживание при эксплуатации и утилизации изделия.

Каждое из приведенных выше мероприятий имеет как общие для всех изделий принципы обеспечения качества, так и специальные требования, связанные с конструктивными особенностями, характером эксплуатации, обслуживания и утилизации.

В наиболее полной мере комплексное обеспечение качества реализовано в области создания и использования космической техники, обслуживание которой в условиях эксплуатации крайне затруднено, а отказ может создать серьезную угрозу жизни и далеко не всегда устраним при эксплуатации в экстремальных условиях.

В связи с этим Организацией европейского сотрудничества по стандартизации в области космической деятельности (ECSS) разработана серия стандартов Европейского космического агентства (ЕКА), в соответствии с которыми и по согласованию с ЕКА в рамках программы Союзного государства «Стандартизация-СГ» Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси совместно с ОАО «Планар» были подготовлены и изданы Госстандартом Республики Беларусь СТБ ECSS-Q-ST-60С-2014 «Космическая техника. Обеспечение качества продукции. Компоненты электрические, электронные и электромеханические», СТБ ECSS-Q-НВ-30-01А «Космическая техника. Обеспечение качества продукции. Анализ наихудшего случая», СТБ ECSS-Q-НВ-30-08А «Космическая техника. Обеспечение качества продукции. Источники данных о надежности компонентов и их использование», положенные в основу данного доклада.

Близкие к этим требованиям предъявляются к оборудованию точного электронного машиностроения,

в котором многокоординатными приводными системами в перспективе в ряде случаев будет необходимо обеспечить субмикронную точность при нанометровой шероховатости обрабатываемых поверхностей.

Цель исследований — разработка теоретических основ обеспечения качества многокоординатных прецизионных систем точного электронного машиностроения.

Методические подходы. При проведении исследований осуществлялись:

- анализ сложившейся практики Европейского космического агентства в области обеспечения качества изготовления на примере электрических, электронных и электромеханических компонентов космической техники;
- анализ особенностей оборудования точного электронного машиностроения на примере многокоординатных зондовых машин;
- разработка теоретических основ обеспечения качества многокоординатных прецизионных систем точного электронного машиностроения на стадии изготовления на примере зондовых машин;
- разработка теоретических основ обеспечения качества многокоординатных прецизионных систем точного электронного машиностроения при их мониторинге, обслуживании в процессе эксплуатации и утилизации после завершения жизненного цикла.

Результаты исследований и их обсуждение. В Европейском космическом агентстве вопросы обеспечения качества изготовления изделия регламентируются стандартом ECSS-Q-ST-60C. Этим стандартом определяется комплекс требований к подбору, контролю, приобретению и применению ЭЭЭ компонентов для космических применений.

В соответствии с подходом ЕКА все используемые в изделии компоненты делятся на три группы, принадлежность к которым определяется надежностью и риском применения в конкретизированных условиях.

Самая высокая надежность и самый низкий риск при использовании обеспечиваются первой группой, компоненты которой имеют, как правило, наиболее высокую стоимость. Самая низкая надежность и самый высокий риск у компонентов третьей группы, однако, при этом они имеют существенно меньшую стоимость.

Нормативной документацией оговаривается возможность снижения общей стоимости при создании объекта для обеспечения его конкурентной себестоимости за счет применения компонентов второй и третьей групп, однако в этом случае должны быть приняты специальные, строго регламентированные нормативно-технической документацией меры по снижению отрицательного воздействия их более низкой надежности на надежность объекта в целом и повышения риска их использования.

В общем случае выбор компонентов той или иной группы производится в соответствии с назначением и требованиями к функциональной надежности создаваемого объекта. С учетом этого осуществляется техническая проработка и определяются ограничения на использование той или иной группы компонентов. При этом необходимо отметить, что в нормативной документации ЕКА дана номенклатура компонентов (в рассматриваемом случае электрических, электронных и электромеханических), которая может быть использована в космической технике, и перечень поставщиков этих компонентов.

Для комплексного решения задачи обеспечения требуемого качества в приведенном выше стандарте предусмотрены следующие мероприятия:

- управление программой выбора и оценки соответствия компонентов предъявляемым к ним требованиям при подборе и утверждении их номенклатуры;
- регламентация процесса приобретения компонентов, последующего обращения с ними и хранения;
- система обеспечения качества компонентов;
- выделение в отдельный список компонентов специального (особого) назначения и порядок работы с ними;
- ведение документации, обеспечивающей прослеживаемость на всех стадиях жизненного цикла изделия.

Для обеспечения качества используются следующие механизмы:

- параллельная разработка и управление компонентами;
- стандартизация типов компонентов и разумное сокращение их номенклатуры;
- определение характеристик комплектующих компонентов;
- оценка уровня производителей компонентов, учитывающая заявленные ими возможности и используемые технологические процессы;
- обязательное проведение испытаний при предварительном отборе, приемочного контроля партии компонентов и их периодических испытаний;
- формирование спецификации закупок;
- осуществление контроля и осмотра;
- организация контроля материалов, не удовлетворяющих техническим условиям;
- оценка и анализ имеющихся данных о применении компонентов, выпускаемых различными производителями, применение специального особого контроля компонентов с ограниченными или недостоверными данными для снижения рисков при их использовании;
- управление потоками информации.

Целесообразно отметить, что стандарт ECSS-Q-ST-60C организационно взаимосвязан с рядом стандартов ISO (рисунок 2) и наиболее важными для КТ нормативными документами, такими как условия функционирования электрических, электронных и электромеханических компонентов (ECSS-E-ST-10-04C:2008) и учет влияния на ее работоспособность ионизирующего излучения и радиации.

В стандарте ECSS-Q-HB-30-08A «Космическая техника. Обеспечение качества продукции. Источники данных о надежности компонентов и их использование» определены источники данных и методы, которые должны быть использованы для прогнозирования надежности компонентов.

В стандарте ECSS-Q-HB-30-01A «Космическая техника. Обеспечение качества продукции. Анализ наихудшего случая» рассмотрены вопросы проведения анализа наихудшего случая.

Анализ наихудшего случая используют также для подтверждения обоснованности запаса работоспособности электронных схем во всех условиях эксплуатации. Он применяется ко всему электрическому и электронному оборудованию. Метод анализа наихудшего случая (WCA) также используется на уровне подсистем для подтверждения характеристик электрического интерфейса и требуемых расчетных предельных параметров оборудования. Он применяется на всех этапах проектирования, на которых устанавливаются требования

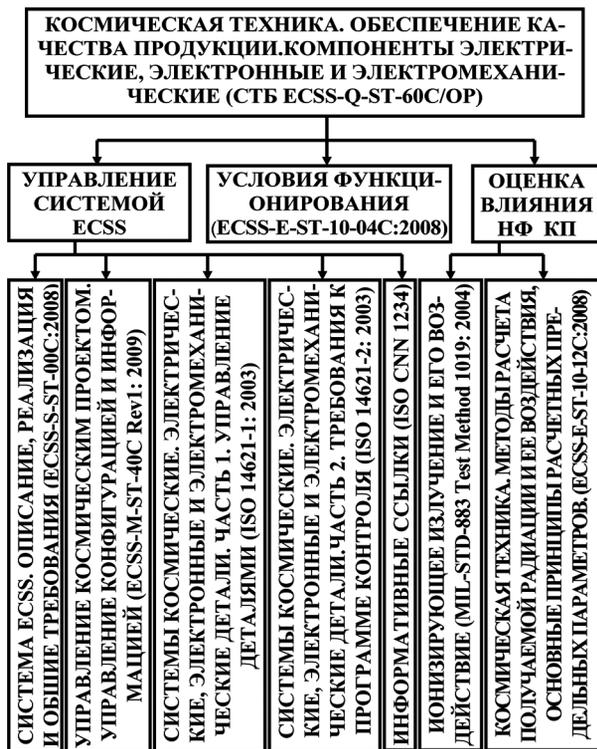


Рисунок 2 — Основные ссылки стандарта ECSS-Q-ST-60C

к электрическому интерфейсу и выполняется проектирование электрической схемы.

Управление компонентами. Для обеспечения качества ЭЭЭ компонентов составляется план управления компонентами. Основная цель и задачи составления плана управления компонентами заключаются в том, чтобы определить и структурировать действия, которые будут осуществлены для гарантии того, что менеджмент качества компонентов отвечает целям и соответствует требованиям к проекту, его прогнозируемой стоимости, требованиям минимизации проводимых работ и обеспечения допустимого риска. В соответствии с этим, система управления компонентами включает в себя вопросы: организации системы менеджмента качества; выбора, оценки, утверждения и закупки компонентов, оговаривающие требования к сплошному контролю с разбраковкой, предварительному осмотру и приемочному контролю партии, заключительному осмотру и поставке, входному контролю, радиационным верификационным испытаниям, разрушающему контролю, подтверждению соответствия, доставке документации изготовителя, его обращению с компонентами и их хранению; обеспечения гарантии качества серийно изготавливаемых компонентов, включающие фиксацию несоответствия или отказов, их предупреждения,

прослеживаемости и однородности партии для выборочного контроля; проведения работ с особыми (специализированными) компонентами, включающими заказные специализированные интегральные микросхемы (ASIC), гибридные интегральные микросхемы, однократно программируемые устройства и микроволновые монолитные интегральные микросхемы; требования к документации.

Заключение. Система обеспечения качества таких технически сложных многокоординатных прецизионных систем точного электронного машиностроения, в частности технологическое обеспечение качества при изготовлении, должна включать ряд мероприятий по управлению программой выбора и оценки соответствия компонентов предъявляемым к ним требованиям при подборе и утверждении их номенклатуры, регламентацию процесса приобретения, последующего обращения и хранения компонентов, а также систему обеспечения качества компонентов с выделением в отдельный список и регламентированием порядка работы с группой компонентов специального (особого) назначения. К отдельному принципиально важному вопросу можно отнести оценку и анализ имеющихся данных о применении компонентов, выпускаемых различными производителями, ведение документации, включая формирование спецификации закупок, обеспечивающей прослеживаемость на всех стадиях жизненного цикла изделия. При этом целесообразна параллельная разработка и управление компонентами, стандартизация (выделение в отдельные группы) типов компонентов и разумное сокращение их номенклатуры, а также определение наиболее важных характеристик комплектующих компонентов, оценка уровня их производителей с учетом заявленных ими возможностей и используемых технологических процессов и введение обязательного проведения испытаний при предварительном отборе, контроле и осмотре на всех стадиях поставки, включая используемые материалы, приемочного контроля партии компонентов и их периодических испытаний, управление потоками информации.

Список литературы

1. Space product assurance. Electrical, electronic and electromechanical (EEE) components: ECSS-Q-ST-60C; 07.02.2013. — Rev. 2 — DIR 1. — ECSS Secretariat ESA-ESTEC Requirements & Standards Division Noordwijk, The Netherlands.
2. Space product assurance. Worst case analysis: ECSS-Q-HB-30-01A:2011; 14.01.2011. — ECSS Secretariat ESA-ESTEC Requirements & Standards Division Noordwijk, The Netherlands.
3. Space product assurance. Components reliability data sources and their use: ECSS-Q-HB-30-08A:2011; 14.01.2011. — ECSS Secretariat ESA-ESTEC Requirements & Standards Division Noordwijk, The Netherlands.

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

Theoretical foundations of quality assurance of multi-coordinate precision systems of precision electronic mechanical engineering. Part 1. Technological quality assurance in the manufacture of equipment of precision electronic mechanical engineering

The methodological approaches are outlined to ensure the quality of technically complex multi-coordinate precision systems of precision electronic mechanical engineering during its manufacture. They are based on the established practice of ensuring the quality of electrical, electronic and electromechanical (EEE) components of space technology in the European Space Agency.

Поступил в редакцию 26.07.2018.

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

<i>НАТРИАШВИЛИ Т.М., МЕБОНИЯ С.А.</i> Определение сил ударного взаимодействия зубьев шестеренных валков прокатного стана	45
<i>КРАСНЕВСКИЙ Л.Г.</i> Автоматические трансмиссии. Технология «Clutch-to-Clutch Shifts»: практика применения	48
<i>МАЖЕЙ А.А., ЕЛЕНСКИЙ П.Г.</i> Перспективная модульная система сбора параметров работы транспортных средств и анализа дорожной обстановки	60
<i>ГУРЕВИЧ В.Л., ЖАГОРА Н.А.</i> О пересмотре основных единиц в системе СИ и способах их воспроизведения	63
<i>КАПЛИН Н.В., САВЧИЦ А.Г.</i> Сравнительный анализ методов мониторинга функционального состояния водителя	66
<i>КАПЛЮК И.И.</i> Моделирование контактного взаимодействия токоъемника и контактного провода с учетом тепловых процессов	71
<i>ШИМАНОВСКИЙ А.О., САХАРОВ П.А., КОВАЛЕНКО А.В.</i> Моделирование продольной динамики поезда в среде программного комплекса MSC.ADAMS	75
<i>ДЖАСОВ Д.В., ВЫРСКИЙ А.Н., ЧУПРЫНИН Ю.В.</i> Анализ кинематики механизма привода системы очистки зерноуборочного комбайна КЗС-10К	79
<i>ШКОЛЫК С.Б., ЕЛОВОЙ О.М., БУЛАВИЦКИЙ Н.Н., ЕРМАК А.О., КОЗИНЕЦ А.В., ГЛАЗУНОВА А.А.</i> Основные тенденции развития зондового оборудования точного электронного машиностроения	83
<i>ШКОЛЫК С.Б., ЗАЙЦЕВ В.А., ЦЫРКУН Д.П., ВОЛКОТРУБ Р.Е.</i> Некоторые особенности прецизионной планаризации пластин	86
<i>ПОДДУБКО С.Н., ШМЕЛЕВ А.В., ИВЧЕНКО В.И., ОМЕЛЮСИК А.В., БОРБОВСКИЙ М.Ю.</i> Методические основы проектирования мобильных демпферных устройств для снижения тяжести последствий ДТП с участием машин дорожных служб	90
<i>КОЛЕСНИКОВИЧ А.Н., ВЫГОННЫЙ А.Г.</i> Устойчивость прицепного автопоезда повышенной длины (25,25 м) при прямолинейном движении	96
<i>ВЫГОННЫЙ А.Г., ЛОПУХ Д.Г., КОЛЕСНИКОВИЧ А.Н., ШМЕЛЕВ А.В., КРАВЧЕНКО А.Л., ШАКИН Р.В.</i> Оценка влияния неточностей вертикального расположения кронштейнов подвески самосвала на неравномерность их нагруженности	101
<i>ОМЕЛЮСИК А.В., ШМЕЛЕВ А.В.</i> Методические рекомендации по подготовке компьютерной модели автобуса для расчетной оценки силовой структуры на соответствие нормативным требованиям безопасности	105

<i>КУХАРЕВ А.А., ХИТРИКОВ С.В.</i> Методика построения логистической модели кластерного типа для доставки сборочных узлов и комплектующих деталей крупного промышленного предприятия	112
<i>СТРОК Е.Я., БЕЛЬЧИК Л.Д., АНАНЧИКОВ А.А., АЛЕКСАНДРОВА Т.Л.</i> Построение активной системы контактного копирования рельефа поля.....	115
<i>ДУБОВСКИЙ В.А., САВЧЕНКО В.В., БОРИСКЕВИЧ А.А.</i> Синергетический подход к организации взаимодействия бортовых систем транспортного средства.....	121
<i>ХОЛОД Е.А., КАРПУК Н.В., КУЗЬМИЧЕВ В.А.</i> Структура блока коммутации для коммерческого транспорта нового поколения.....	124
<i>ЛИТАРОВИЧ В.В., МЫЛЬНИКОВ Е.В., ЧЕРНИН М.А.</i> Разработка критериев по определению пространственного положения транспортного средства после аварии	128
НАДЕЖНОСТЬ, ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ МАШИН И КОНСТРУКЦИЙ	
<i>КАМЫШНИКОВА О.С., БУХАНЧЕНКО С.Е.</i> Моделирование несоосности валов технических систем на электромеханическом испытательном стенде	132
<i>КРИВОШЕЕВА Е.А., БУХАНЧЕНКО С.Е.</i> Моделирование дисбаланса роторного узла технических систем на электромеханическом испытательном стенде	136
<i>САЛАМАНДРА К.Б.</i> Синтез и статический анализ многопоточных вально-планетарных коробок передач	140
<i>БЕЛАБЕНКО Д.С.</i> Определение силовой нагруженности трансмиссии при трогании специального колесного шасси с гидромеханической передачей	146
<i>ЛИС И.Н., БОГДАНОВИЧ А.В.</i> Кинетика и фрактография локальных повреждений при фрикционно-механической усталости трибофатической системы «вал (сталь 45) — вкладыш (силумин)»	153
<i>ТАРАНОВА Е.С.</i> Влияние смазочного материала на характеристики сопротивления механической усталости	157
<i>ПРУШАК В.Я., ТРОЙНИЧ В.А., ВЫСОЦКАЯ Н.А.</i> Влияние длительности эксплуатации систем забойного оборудования на их надежность на примере очистного комплекса СЛ-500	162
<i>ВЕСЕЛУХА В.М., БОГДАНОВИЧ А.В.</i> Локализованное упругопластическое напряженно-деформированное состояние и состояние поврежденности у вершины трещины при внецентренном растяжении.....	166
<i>ТАРАНОВА Е.С., КОМИССАРОВ В.В., ВАСИЛЕНКО М.С., СОСНОВСКИЙ Л.А.</i> 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

<i>БАСИНЮК В.Л., ЕЛОВОЙ О.М., БУЛАВИЦКИЙ Н.Н., КАДИЛЬНИКОВА Т.М., ЕРМАК А.О., ГЛАЗУНОВА А.А.</i>	
Теоретические основы обеспечения качества многокоординатных прецизионных систем точного электронного машиностроения.	
Часть 1. Технологическое обеспечение качества при изготовлении оборудования точного электронного машиностроения	304
<i>БАСИНЮК В.Л., КАДИЛЬНИКОВА Т.М., ЕЛОВОЙ О.М., ШКОЛЫК С.Б., БУЛАВИЦКИЙ Н.Н., ЕРМАК А.О., ГЛАЗУНОВА А.А.</i>	
Теоретические основы обеспечения качества многокоординатных прецизионных систем точного электронного машиностроения.	
Часть 2. Мониторинг и техническое обслуживание при эксплуатации.....	307
<i>ЛЕВАНЦЕВИЧ М.А., МАКСИМЧЕНКО Н.Н., ПИЛИПЧУК Е.В., ЮРУТЬ Е.Л.</i>	
Защитные свойства электродеформационно плакированных покрытий в расплавах алюминий-цинковых сплавов	312
<i>КОНСТАНТИНОВ В.М., КУКАРЕКО В.А., КОВАЛЬЧУК А.В.</i>	
Разработка технологии поверхностного упрочнения деталей подшипников из среднеуглеродистых сталей химико-термической обработкой и нанесением нитридных покрытий	315
<i>КОНСТАНТИНОВ В.М., МУРАВЬЕВ К.И., БАРИСКОВ Н.В.</i>	
Анализ материаловедческих путей повышения долговечности инструмента при сферодвижной штамповке цементуемых сталей	322
<i>ГРИДЮШКО Д.В., БРИЖЕВИЧ А.В., ПИСКУН Е.В.</i>	
Использование полиуретана в качестве облицовочного материала для роликов ленточных конвейеров	326
<i>ШЕЛЕГ В.К., ДОВГАЛЕВ А.М.</i>	
Исследование триботехнических свойств поверхностей деталей, упрочненных совмещенным магнитно-динамическим накатыванием	330
<i>ИВАНОВ В.П., ДУДАН А.В., ВИГЕРИНА Т.В.</i>	
Состояние ресурсных деталей автомобильных агрегатов, поступающих в ремонт	335
<i>САНДОМИРСКИЙ С.Г.</i>	
Статистический анализ взаимосвязей между механическими свойствами и твердостью стали 40Х.....	339
<i>КУКАРЕКО В.А., ГРИГОРЧИК А.Н., АСТРАШАБ Е.В., БАРАНОВСКИЙ К.Э., ЛУЩИК П.Е.</i>	
Структурно-фазовое состояние и дюрометрические свойства отливок экспериментальных чугунов для насосного оборудования	342
<i>РУДЕНКО С.П., ВАЛЬКО А.Л., САНДОМИРСКИЙ С.Г.</i>	
Оценка применимости экономно-легированных сталей для высоконапряженных зубчатых колес	346
<i>КУКАРЕКО В.А., КУШНЕРОВ А.В., САЧИВКО Я.С., ЦЫБУЛЬСКАЯ Л.С.</i>	
Структурное состояние и износостойкость образцов светопоглощающих покрытий на алюминиевых сплавах типа Д16, полученных методом анодного оксидирования.....	350
<i>ЛЕВАНЦЕВИЧ М.А., ПИЛИПЧУК Е.В., МАКСИМЧЕНКО Н.Н.</i>	
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 окислением	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