

**Басинюк В. Л., Еловой О. М., Школык С. Б.,  
Булавицкий Н. Н., Ермак А. О., Волкотруб Р. Е.**

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ СОВРЕМЕННОГО ПРЕЦИЗИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

**Введение.** Современное серийное прецизионное оборудование точного электронного машиностроения уже сегодня в индустриально развитых странах оперирует размерами 28...65 нм и в ближайшем будущем вплотную подойдет к области серийно реализуемых нанотехнологий шестого технологического уклада. Более того, «нанозлектроника – одно из базовых полей нанотехнологий, и ее развитие – требование сегодняшнего дня для стран, претендующих на лидирующие позиции в мире» [1]. В ближайшем будущем группами предприятий Зеленограда («МИКРОН», «АНГСТРЕМ-Т») планируется организация серийного «производства микроразмерных изделий с конструктивными ограничениями 0,18 и 0,13 мкм и уровнем производства 65 нм» [1].

Возможность обеспечения такого уровня серийного производства связана с решением значительного числа технически сложных задач, к одной из основных можно отнести обеспечение точности позиционирования рабочего органа, управляемого, как правило, многокоординатными, в ряде случаев высокочастотными приводными системами. Учитывая высокоскоростные режимы функционирования такого оборудования, как, например, зондовое, на точность позиционирования существенное влияние оказывают не только алгоритмы и средства управления и контроля перемещениями рабочего органа, но и динамические качества самих прецизионных многокоординатных приводных систем. Существенно возрастает вероятность возникновения и интенсивность механических колебаний с собственными частотами при переходных процессах.

Исследованию динамических качеств прецизионных приводных систем посвящено значительное число работ [1–9], однако, по мере повышения требований к точности изготавливаемых объектов и динамическим качествам используемых при этом приводов, актуальность этой темы не только не снижается, но и постоянно возрастает.

**Цель исследований** – разработка методических подходов к созданию современного прецизионного оборудования точного электронного машиностроения, позволяющих реализовать перспективные требования к его точностным характеристикам и динамическим качествам.

**Методика исследований.** В основу исследований положен анализ современных подходов к созданию оборудования точного и сверхточного машиностроения и на их основе разработаны методические подходы применительно к особенностям точного электронного машиностроения.

Анализ источников научно-технической информации [1–9] показал, что для современных подходов к созданию оборудования точного и сверхточного машиностроения наиболее характерно следующее (рисунки 1):

- на основе технических требований к оборудованию осуществляется моделирование прогнозируемых процессов обработки, с использованием результатов которого синтезируется микропроцессорная система управления и формируются уточненные требования к основным модулям и покупным компонентам, учиты-

вающие прогнозируемую функциональную (детерминированную или статистическую) надежность изделия в заданных условиях функционирования;

- организуется процесс управления качеством разработки и изготовления изделия на основе автоматизированного контроля:
  - а) конструкторской и технологической документации;
  - б) режимов обработки и технического состояния технологического оборудования;
  - в) качества изготовления на всех стадиях этого процесса, параметров комплектующих и выходных характеристик готовых изделий;
- предусматривается технически обоснованное использование измерительных, в том числе высокоточных устройств для регистрации координатных перемещений, параметров колебаний и условий функционирования;
- предварительно формируются (в результате тестирования или испытаний) системы взаимосвязей между отклонениями от требуемых точностных и (или) связанных с ними параметров и совокупностью их прямых или косвенных проявлений, регистрируемых системой контроля в соответствии с предварительно разработанными алгоритмами мониторинга и с учетом этого разрабатываются эффективные методы и средства диагностирования технического состояния, позволяющие реализовать требуемое качество обработки;
- формируется система технического обслуживания оборудования, обеспечивающая эффективное поддержание его функциональной надежности в процессе эксплуатации.

При проектировании оборудования создается система управления параметрами координатными перемещениями, режимами обработки и условиями функционирования, учитывающая:

- а) влияние режимов функционирования оборудования и режимов обработки на точность координатных перемещений и шероховатость обрабатываемых поверхностей;
- б) результаты оперативного контроля регистрируемых координатных перемещений и параметров колебаний;
- в) дискретность управляющих воздействий, величина которых должна быть предусмотрена существенно меньшей допустимого диапазона варьирования регулируемых параметров;
- г) точность изготовления, жесткость и наличие зазоров в основных компонентах оборудования, оказывающих влияние на координатные перемещения элементов системы «станок-приспособление-инструмент-деталь» (СПИД);
- д) влияние трения в подвижных сопряжениях на плавность перемещения рабочего органа;
- е) параметры вибрации и собственные частоты механических колебаний приводных и связанных с ними компонентов оборудования;
- ж) функциональные возможности высокоточных датчиков обратной связи.

**Басинюк Владимир Леонидович**, д. т. н., начальник научно-технического центра «Технологии машиностроения и технологическое оборудование» Объединенного института машиностроения НАН Беларуси.

**Еловой Олег Михайлович**, к. т. н., заместитель генерального директора по научной работе и инновационной деятельности Объединенного института машиностроения НАН Беларуси.

**Волкотруб Р.Е.**, научный сотрудник лаборатории приводных систем и технологического оборудования Объединенного института машиностроения НАН Беларуси.

Беларусь, г. Минск, ул. Академическая, 12.

**Школык Святослав Борисович**, главный конструктор ОАО «Планар».

**Булавицкий Николай Николаевич**, заместитель главного инженера ОАО «Планар».

**Ермак А.О.**, главный специалист по сотрудничеству с зарубежными странами отдела внешнеэкономической политики и стратегии продаж ОАО «Планар».

Беларусь, г. Минск, Партизанский просп., 2, корп. 1.

### СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ОБОРУДОВАНИЯ ТОЧНОГО И СВЕРХТОЧНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

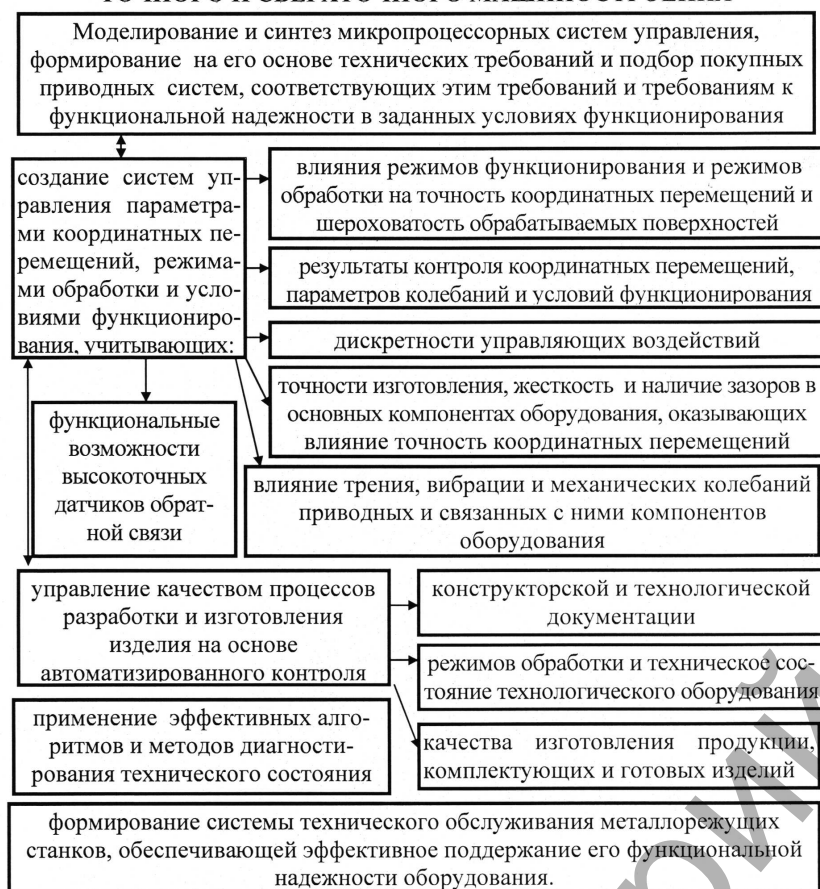


Рисунок 1 – Современные подходы к созданию оборудования точного и сверхточного машиностроения

В работах [1, 9] рассматривается технически сложное оборудование как ранжированная совокупность иерархических систем, верхний уровень которой состоит из формообразующей, управляющей и вспомогательной систем.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В настоящее время ОАО «Планар» выпускает оборудование для формирования и контроля топологических структур на фотошаблонах и топологических структур на полупроводниковых пластинах, для подготовки кристаллов к сборке, а также сборочное оборудование.

Кроме этого, ОАО «Планар» производит различные объекты микроскопии, оптики, медицинской техники, координатные приводы и датчики.

Пример одного из видов этого оборудования – автомата для разделения полупроводниковых пластин на кристаллы – показан на рисунке 2. В его состав входят 19 основных электроприводов (4 двигателя постоянного тока, 11 шаговых двигателей, 2 синхронных поворотных двигателя и 2 асинхронных двигателя).

К основным конструктивным особенностям прецизионного оборудования точного электронного машиностроения можно отнести следующее:

- функционирование в автоматическом и в отдельных случаях полуавтоматическом режиме;
- использование в одном объекте значительного числа основных приводов, посредством которых осуществляются координатные перемещения исполнительного органа, и вспомогательных приводов, обеспечивающих:
  - ✓ стабилизацию тепловой нагруженности основных компонентов оборудования с системой контроля в наиболее информативных зонах и поддержания температуры в допустимом диапазоне ее варьирования;
  - ✓ подачу в аэростатические опоры сжатого воздуха с требуемыми давлением и степенью очистки;

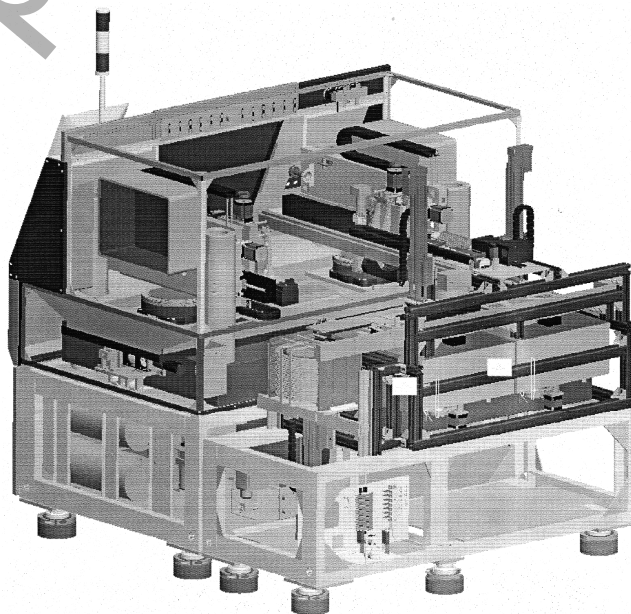
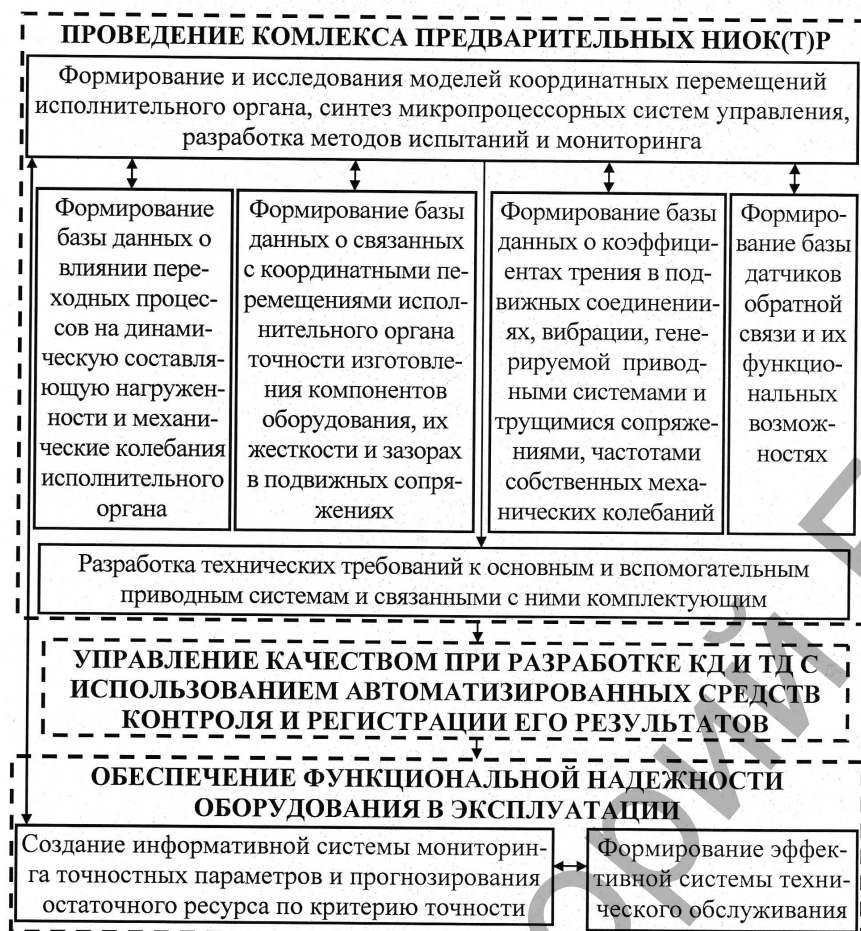


Рисунок 2 – Автомат для разделения полупроводников на кристаллы

- ✓ подачу, при необходимости, в зону обработки охлаждающей жидкости и ее дозирование;
  - применение сервисных систем типа «техническое зрение».
- С учетом современных подходов к созданию оборудования точного и сверхточного машиностроения и особенностей оборудования ОАО «Планар» были разработаны методические подходы к его разработке, изготовлению и эксплуатации (рисунок 3), включающие следующее:

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПОДХОДАМ К СОЗДАНИЮ СОВРЕМЕННОГО ПРЕЦИЗИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ



**Рисунок 3** – Методические подходы к созданию современного прецизионного оборудования точного электронного машиностроения

- на основе анализа источников научно-технической информации, данных об испытаниях и эксплуатации предварительно формируются электронные информационные базы данных:
    - ✓ о влиянии переходных процессов на динамическую составляющую нагруженности и механические колебания исполнительного органа;
    - ✓ о точности изготовления компонентов оборудования, их жесткости и зазорах в подвижных сопряжениях и их влиянии на точность координатных перемещений исполнительного органа;
    - ✓ об особенностях приводов, используемых в создаваемом ОАО «Планар» оборудовании и генерируемой ими вибрации, коэффициентах трения в подвижных соединениях и связанных с этим колебаниях, частотах собственных механических колебаниях (при наличии такой информации);
    - ✓ о датчиках обратной связи, которые могут быть использованы в разрабатываемом оборудовании, и их функциональных возможностях;
  - с использованием сформированных баз данных осуществляется предварительное формирование моделей и алгоритмов прогнозируемых координатных перемещений и проводятся их исследования в диапазоне функционирования оборудования, с учетом результатов которых разрабатываются технические требования (рис. 3):
    - ✓ к основным и вспомогательным приводным системам и связанным с ними комплектующим;
    - ✓ к системе контроля при разработке КД и ТД;
    - ✓ к системе организации технологического контроля при изготовлении;
    - ✓ к испытаниям при входном контроле комплектующих, их хранению и испытаниям готовых узлов и изделий;
    - ✓ к системе мониторинга и обслуживания оборудования в эксплуатации;
  - осуществляется предварительный выбор прогнозируемых к использованию:
    - ✓ координатных и сервисных приводов;
    - ✓ датчиков обратной связи;
    - ✓ конструктивных и иных элементов, определяющих жесткостные параметры механической системы и функционирование подвижных соединений;
  - организуется процесс управления качеством при разработке КД и ТД с использованием автоматизированных средств контроля и электронной регистрации его результатов;
  - осуществляется комплекс работ по обеспечению функциональной надежности оборудования в эксплуатации, включающий:
    - ✓ создание информативной системы мониторинга точностных параметров и прогнозирования остаточного ресурса оборудования и его основных компонентов по критерию точности;
    - ✓ формирование эффективной системы технического обслуживания оборудования;
    - ✓ формирование оперативно пополняемой электронной базы данных о результатах мониторинга и обслуживания оборудования и его узлов.
- Заключение.** Анализ результатов проведенных исследований показал, что в основу методических подходов к созданию современного прецизионного оборудования точного электронного машиностроения может быть положено следующее:
- предварительное формирование электронных информационных

- баз данных, характеризующих разрабатываемый объект и его функционирование, и формирование моделей и алгоритмов прогнозируемых координатных перемещений;
- исследование разработанных моделей и на основе их результатов разработка технических требований; предварительный выбор прогнозируемых к использованию координатных и сервисных приводов, а также датчиков обратной связи, обоснования параметров конструктивных и иных элементов, определяющих жесткостные характеристики механической системы и функционирование подвижных соединений;
  - организация процесса управления качеством при разработке КД и ТД с использованием автоматизированного контроля и электронной регистрации его результатов;
  - проведение комплекса работ по обеспечению функциональной надежности оборудования в эксплуатации, включающего создание информативной системы мониторинга точностных параметров и прогнозирования остаточного ресурса оборудования и его основных компонентов по критерию точности;
  - формирование эффективной системы технического обслуживания оборудования и оперативно пополняемой электронной базы данных о результатах мониторинга и обслуживания оборудования и его узлов.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Виноградов, М. В. Обеспечение нанометровой точности формообразующих перемещений рабочих органов прецизионных автоматизированных станков / М. В. Виноградов, А. А. Игнатьев, Е. А. Сигитов. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2011. – 100 с.

2. Ан, Ж. Датчики измерительных систем / Ж. Ан. – М.: Мир, 1992. – 560 с.
3. Проников, А. С. Параметрическая надежность машин / А. С. Проников. – М.: МГТУ им. И. Э. Баумана, 2002. – 560 с.
4. Пуш, А. В. Шпиндельные узлы: качество и надежность / А. В. Пуш. – М.: Машиностроение, 1992. – 288 с.
5. Продольно-фрезерный станок с ЧПУ: пат. 63729 РФ; МПК В23С 1/06 / А. В. Чудин, А. Е. Пищулин, В. Ф. Гуров, Е. А. Кузнецов; заявитель ОАО «Станкон». – № а2006145337/22; заявл. 19.12.2006; опубл. 10.06.2007 // Фед. служба по интел. собственности РФ. – 2006. – Бюл. № 16.
6. Вертикальный фрезерно-сверлильно-расточной станок с ЧПУ: пат. 168927 РФ; МПК В23В 35/00, В23С 1/06 / Б. Е. Пинии, Ю. В. Максимов, А. В. Попов; заявитель ФГБОУ ВО «Московский политехнический ун-т». – № а2016107953/22; заявл. 04.03.2016; опубл. 28.02.2017 // Фед. служба по интел. собственности РФ. – 2017. – Бюл. № 7.
7. Конструкции современных автоматизированных станков как объектов управления в машиностроении: учеб. пособие / А. А. Игнатьев, В. А. Добряков, М. В. Виноградов, Е. А. Сигитов. – Саратов: СГТУ, 2010. – 56 с.
8. Кузнецов, В. Г. Приводы станков с программным управлением / В. Г. Кузнецов. – М.: Машиностроение, 1983. – 180 с.
9. Игнатьев, А. А. Точность и надежность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков / А. А. Игнатьев, М. В. Виноградов, В. А. Добряков [и др.] – Саратов: СГТУ, 1999. – 124 с.

Материал поступил в редакцию 02.01.2019

#### **BASINIUK U. L., ELOVOY O. M., SHKOLYK S. B., BULAVITSKY N. N., YERMAK A. O., VOLKOTRUB R. E. Methodical approaches to the creation of modern precision equipment for precise electronic machinery**

The article gives an analysis of modern approaches to the creation of equipment for precision and precision engineering and the results of developing on their basis methodological approaches to the features of precision electronic engineering, including a complex of preliminary work and the implementation of quality assurance in the development of CD and TD, manufacturing and operation.

УДК 662.998

**Гаврилова В. В., Воронцов А. С., Чаусова Т. А.**

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ЕМКОСТЕЙ**

**Введение.** Тепловая изоляция изотермических изделий в современной промышленности играет важную роль. Использование эффективных составов теплоизоляционных материалов позволяет решать вопросы жизнеобеспечения, организации технологических процессов, экономии энергоресурсов. Теплоизоляционные конструкции являются неотъемлемой частью защитных элементов промышленного оборудования, трубопроводов, частей промышленных сооружений. Благодаря изоляции значительно повышаются надежность, долговечность и эффективность эксплуатации зданий, сооружений и оборудования [1]. Теплоизоляционные материалы выполняют следующие функции: снижают тепловые потери в окружающую среду от объектов (здания, цистерны, оборудование, трубопроводы и др.), обеспечивают регулируемый технологический процесс в аппаратах, поддерживают заданные температурные параметры компонентов в технологических процессах, создают нормальные температурные условия для обслуживающего персонала, уменьшают температурные напряжения в металлических конструкциях, огнеупорной футеровке и т. д. Термоизоляция промышленного оборудования, помимо функций энергосбереже-

ния, обеспечивает возможность проведения технологических процессов при заданных параметрах, позволяет создать безопасные условия труда на производстве, снижает потери легко испаряющихся нефтепродуктов в резервуарах, позволяет хранить сжиженные газы в изотермических хранилищах [2].

Теплоизоляционные материалы при монтаже и во время эксплуатации подвергаются температурным, климатическим, механическим, вибрационным воздействиям. Чтобы получить достаточный эффект от применения тепловой изоляции, в инженерных проектах производятся соответствующие тепловые расчеты, в которых применяются конкретные разновидности теплоизоляционных материалов и учитываются их теплофизические характеристики, в первую очередь коэффициент теплопроводности. Эти мероприятия позволяют успешно решать проблему экономии топливно-энергетических ресурсов [3].

На предприятии ОАО «Гродненский механический завод» производится термоизоляция цистерн для перевозки пищевых жидкостей, сжиженного газа, нефтепродуктов и др. В качестве теплоизоляционного материала применяется пенополиуретан (ППУ). Пенопо-

**Гаврилова Валентина Владимировна**, ст. преподаватель кафедры материаловедения и ресурсосберегающих технологий Гродненского государственного университета им. Янки Купалы.

**Воронцов Александр Сергеевич**, к. т. н., доц. заведующий кафедрой материаловедения и ресурсосберегающих технологий Гродненского государственного университета им. Янки Купалы.

Беларусь, 230023, г. Гродно, ул. Э. Ожешки, 22.

**Чаусова Татьяна Анатольевна**, ст. преподаватель кафедры профессионального образования и педагогики Карагандинского государственного технического университета.

Казахстан, г. Караганда, бул. Мира, 56.