

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**  
**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  
**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

Кафедра О7 «Информационные системы и программная инженерия»



**ПРОГРАММА**  
**КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**  
**2.2.9 Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной**  
**аппаратуры**

Санкт-Петербург  
2024 г.

Программа кандидатского экзамена по специальности 2.2.9 Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры составлена в соответствии с паспортом научной специальности 2.2.9 «Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры», Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов, утвержденными приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951.

Программа составлена

д.т.н., проф., зав.кафедрой О7



(Е.Г. Семенова)

Программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры «Информационные системы и программная инженерия» (О7) - протокол № 8 (28) от 13.03.2024 года.

## **1. Планируемые результаты сдачи кандидатского экзамена**

Государственный экзамен представляет собой кандидатский экзамен по специальности научных исследований и сдается по программе специальности 2.2.9 «Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры».

Цель экзамена – установить глубину профессиональных знаний соискателя ученой степени, уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе.

## **2. Организация и прием кандидатского экзамена**

### **2.1. Оценочные средства экзамена**

Для рубежной аттестации обучающихся образован фонд оценочных средств в виде вопросов на экзамен.

### **Вопросы, выносимые на экзамен:**

## **Раздел 1. Основы технологического проектирования приборов и радиоэлектронной аппаратуры**

1.1 Организация технологической подготовки производства приборов и ее специфические особенности. Основные задачи технологической подготовки приборостроительного производства. Методы и средства ускорения подготовки производства и повышения ее качества.

1.2 Системный подход как методологическая основа технологического проектирования. Сущность системного подхода. Понятие технологической системы, ее структура и составные элементы. Задачи системного анализа при проектировании технологической системы.

1.3 База данных технологического проектирования. Классификация и группирование в технологическом проектировании. Методическое, информационное, программное, аппаратное обеспечение процесса технологического проектирования.

1.4 Понятие технологичности конструкции изделия. Отработка технологичности конструкции изделия при проектировании. Задачи обеспечения технологичности конструкции изделия при подготовке производства.

1.5 Разновидности технологических процессов в производстве приборов и радиоэлектронной аппаратуры. Типовые технологические процессы (ТП). Методические основы типизации ТП. Дифференциация и концентрация операций ТП. Методическая основа выбора степени дифференциации операций и определения последовательности их выполнения.

1.6 Современные методы технологического проектирования с использованием элементов искусственного интеллекта. Базы знаний технологического проектирования, их состав при решении конкретных задач.

1.7 Организация и последовательность проектирования технологических систем в интеллектуальной САПР.

1.8 Принципы построения экспертных систем технологического проектирования.

1.9 Применение CALS-технологии в приборостроении.

## **Раздел 2. Основы технологии производства приборов и радиоэлектронной аппаратуры**

2.1 Стадии производственного процесса. Входные и выходные параметры производственной системы. Характеристика внешней среды производственной системы. Дестабилизирующие факторы внешней среды.



- 2.2 Организационно-технологическая характеристика структурных элементов производственной системы.
- 2.3 Основные закономерности процессов сборки и монтажа приборов. Методы создания неразъемных контактов и соединений элементов и узлов приборов. Физико-химические закономерности образования паяных, сварных, клеевых соединений.
- 2.4 Основные понятия о взаимозаменяемости. Размерная и функциональная взаимозаменяемость.
- 2.5 Понятия и методические основы технологической преемственности и технологического наследования.
- 2.6 Основные положения теории технического контроля, задачи технического контроля в производственном процессе. Задачи и структура технического контроля.

### **Раздел 3. Теория точности технологических операций**

- 3.1 Производственные погрешности. Методы определения полей рассеяния случайных погрешностей, практические и теоретические кривые распределения. Критерии соответствия.
- 3.2 Методы определения систематических погрешностей. Определение наличия систематических погрешностей по критерию Стьюдента и методом дисперсионного анализа. Методы сравнения теоретического и экспериментального распределения погрешностей (выравнивание экспериментального распределения по теоретическому).
- 3.3 Методы статистического анализа случайных и систематических погрешностей на основе использования точечных диаграмм среднегрупповых погрешностей и диаграмм текущих средних (систематических) погрешностей. Методики определения поля рассеяния суммарной погрешности, точностные диаграммы погрешностей.
- 3.4 Методы обеспечения точности при размерной обработке деталей. Технологические факторы, определяющие точность обработки при выполнении различных технологических операций.
- 3.5 Уравнения суммирования погрешностей составляющих звеньев размерных цепей при условии их рассеяния по законам нормального распределения, равной вероятности и др.

### **Раздел 4. Технология элементов электронных узлов**

- 4.1 Характеристика структурных элементов конструкций электронных приборов. Современная элементная база электронных приборов, ее конструктивно-технологическая характеристика.
- 4.2 Технологическая направленность миниатюризации электронных приборов. Технологичность конструкций компонентов и узлов электронных приборов.
- 4.3 Технология изготовления компонентов электронных узлов приборов. Материалы монтажных оснований электронных приборов и их конструктивно-технологическая характеристика. Технологические факторы, определяющие выбор вида и типа монтажного основания электронного узла прибора.
- 4.4 Технология изготовления печатных плат. Характеристика и физико-химические основы субтрактивной и аддитивной технологий. Тонко и толсто пленочная технологии изготовления функциональных элементов и слоев электронных узлов приборной аппаратуры.
- 4.5 Испытания электронных компонентов, их виды и содержание. Специальные виды испытаний электронных компонентов частного применения.

4.6 Задачи моделирования операций тонко-, толсто пленочной и полупроводниковой технологий. Физические и математические модели типовых операций формирования пленочных элементов (окисления, литографии, легирования, металлизации).

4.7 Технологические процессы изготовления элементов волоконно-оптических, акустооптических устройств, сенсорных средств осязания, микроэлектронных датчиков и др.

4.8 Методология разработки конкурентоспособных элементов электронных узлов приборов в рамках CALS.

## **Раздел 5. Основы проектирования технологических процессов сборки приборов и радиоэлектронной аппаратуры**

5.1 Исходные данные по проектированию сборочных и сборочно-монтажных ТП в приборостроении. Виды процессов сборки по организационно-технологическим принципам построения.

5.2 Теоретические основы построения сборочных процессов в приборостроении. Структурные схемы сборочных технологических систем. Системная модель процесса сборки.

5.3 Комплектация сборки. Виды сборочных операций. Характеристика заготовительных и подготовительных операций сборки.

5.4 Методики разработки принципиальных схем операций сборочного ТП. Определение рациональной степени дифференциации и оптимальной последовательности операций при проектировании технологического маршрута сборки.

5.5 Методы проектирования технологических процессов сборки многономенклатурного мелкосерийного приборостроительного производства. Структурно-параметрический синтез сложной технологической системы сборки.

5.6 Алгоритм проектирования сборочного ТП. Принципы разработки операционной технологии сборки и проектирования автоматизированной сборочной операции.

## **Раздел 6. Оптимизация технологических процессов производства**

6.1 Теоретические методы и математический аппарат исследования сложных технологических систем.

6.2 Моделирование сложных технологических систем производства приборов. Физическое и математическое моделирование. Требования к процессу моделирования. Классификация математических моделей. Детерминированные и стохастические модели. Основные задачи моделирования ТП в различных видах производственных процессов.

6.3 Оптимизация как основная задача моделирования. Понятие о критерии оптимизации, целевой функции, факторном пространстве и поверхности отклика. Классификация и цели методов оптимизации. Методы математического программирования. Градиентные методы оптимизации. Статистические методы. Дисперсионный анализ. Регрессионный анализ. Корреляционный анализ.

6.4 Экспериментально-статистические методы исследования и оптимизации ТП производства приборов. Роль эксперимента при разработке ТП изготовления приборов. Метод планирования эксперимента.

6.5 Полный факторный эксперимент. Дробный факторный эксперимент. Разработка плана эксперимента. Статистическая обработка результатов эксперимента. Планирование экстремальных экспериментов. Центральные композиционные планы. Анализ моделей поверхностей отклика в районе экстремума. Нахождение оптимальных режимов ТП.



6.6 Определение наиболее существенных технологических факторов в производстве приборов. Метод ранговой корреляции. Применение насыщенных и сверхнасыщенных планов для определения доминирующих технологических факторов.

6.7 Стратегия исследования. Анализ результатов эксперимента. Применение компьютерного моделирования при исследовании ТП. Компьютерные пакеты и системы моделирования и оптимизации.

## **Раздел 7. Технологические основы надежности и испытания**

7.1 Обеспечение надежности приборов и радиоэлектронной аппаратуры на этапе проектирования и изготовления. Пути повышения надежности приборов и радиоэлектронной аппаратуры. Модель производства как совокупность ТП, обеспечивающих надежность приборов и радиоэлектронной аппаратуры.

7.2 Математико-статистические методы оценки надежности. Определение надежности и ее основных свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. Обеспечение свойств надежности изделия в процессе производства.

7.3 Количественные показатели надежности восстанавливаемых и невосстанавливаемых изделий. Экспериментальные методы определения количественных показателей надежности.

7.4 Исследование отказов приборов в процессе их изготовления и испытаний. Классификация отказов и критерии отказов приборов. Характерные виды отказов элементов, функциональных блоков и приборных систем.

7.5 Виды климатических испытаний, методики проведения испытаний.

7.6 Методология комплексных исследований и натуральных испытаний. Комплексный метод построения и анализа физико-математических моделей по результатам натуральных испытаний.

## **Раздел 8. Обеспечение требований безопасности и экологии при технологическом проектировании**

8.1 Классификация производственных источников опасностей и вредностей. Направление обеспечения безопасного выполнения ТП.

8.2 Принципы проектирования безопасного технологического оснащения.

8.3 Основы экологической экспертизы проектируемых ТП.

8.4 Методы обеспечения экологической безопасности ТП.

8.5 Утилизация и регенерация отходов производства как составная часть проектирования технологий.

8.6 Направление обеспечения безопасного выполнения ТП.

## **3. Учебно-методическое и информационное обеспечение кандидатского экзамена по научной специальности 2.2.9 «Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры»**

### **3.1 Основная литература:**

1. Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств: учебное пособие / Г. М. Алдонин, А. К. Дашкова, Ф. В. Зандер [и др.]. – Красноярск: СФУ, 2019. – 372 с. – ISBN 978-5-7638-4106-0. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/157551> (дата обращения: 16.02.2024).»

2. Юрков, Н. К. Технология производства электронных средств: учебник / Н.К. Юрков. – 2-е изд., испр., доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 480 с. – ISBN 978-5-8114-1552-6. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/211457> (дата обращения: 16.02.2024).

3. Григорьев, В.А. Автоматизация проектирования электронной аппаратуры: учебное пособие / В. А. Григорьев. – Тверь: ТвГТУ, 2017. – 212 с. – ISBN 978-5-7995-0888-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/171301> (дата обращения: 16.02.2024).

4. Подвигалкин, В.Я. Научно-технологические основы информационных систем связи: учебное пособие для вузов / В. Я. Подвигалкин. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 456 с. – ISBN 978-5-8114-8735-6. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/197537> (дата обращения: 16.02.2024).

5. Козлова, Л.Д. Технология и оборудование в приборостроении и машиностроении. Проектирование технологических процессов: учебное пособие / Л.Д. Козлова, В.В. Марков, Н.В. Углова. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 188 с. – ISBN 978-5-9729-1503-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/346976> (дата обращения: 16.02.2024).

### **3.2 Дополнительная литература:**

1. Выжигин, А.Ю. Гибкие производственные системы: учебное пособие / А.Ю. Выжигин. – 2-е изд. – Москва: Машиностроение, 2023. – 288 с. – ISBN 978-5-907523-21-0. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/307310> (дата обращения: 16.02.2024).

2. Михайлов, И.О. САД-технологии. Проектирование технической системы методом «сверху вниз»: учебно-методическое пособие / И.О. Михайлов. – Новосибирск: СГУГиТ, 2020. – 204 с. – ISBN 978-5-907320-56-7. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/222320> (дата обращения: 16.02.2024).

3. Копылов, Ю.Р. Основы компьютерных цифровых технологий машиностроения: учебник / Ю. Р. Копылов. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 496 с. – ISBN 978-5-8114-3913-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/207086> (дата обращения: 16.02.2024).

### **3.3 Электронные (образовательные, информационные, справочные, нормативные и т.п.) ресурсы:**

Электронные ресурсы:

– фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова  
<http://library.voenmeh.ru>

– Электронно-библиотечная система ЛАНЬ <https://e.lanbook.com/>;

– Электронно-библиотечная система Юрайт <https://www.biblio-online.ru/>;

– Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library>.