**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Учебно-методическое объединение по образованию

в области информатики и радиоэлектроники

**УТВЕРЖДЕНО**

Первым заместителем Министра образования

Республики Беларусь

А.Г. Бахановичем

**15.07.2025**

Регистрационный **№ 7-06-07-003/пр.**

**АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННЫХ**

**СИСТЕМ**

**Примерная учебная программа по учебной дисциплине**

**для специальности**

#### 7-06-0713-02 Электронные системы и технологии

|  |  |
| --- | --- |
| **СОГЛАСОВАНО**Председатель Учебно-методического объединения по образованию в области информатики и радиоэлектроники\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_В.А. Богуш\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | **СОГЛАСОВАНО** Начальник Главного управления профессионального образования Министерства образования Республики Беларусь\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_С.Н. Пищов\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |
|  | **СОГЛАСОВАНО**Проректор по научно-методической работе Государственного учреждения образования «Республиканский институт высшей школы»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И.В. Титович\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |
|  | Эксперт-нормоконтролер\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |

Минск 2025

**СоставителЬ:**

В.Л.Ланин, профессор кафедры электронной техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», доктор технических наук, профессор

**Рецензенты:**

Кафедра конструирования и производства приборов Белорусского национального технического университета (протокол № 2 от 10.10.2024);

В.А.Пилипенко, заместитель начальника государственного центра Белмикроанализ открытого акционерного общества «ИНТЕГРАЛ» - управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ПРИМЕРНОЙ:**

Кафедрой электронной техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 4 от 14.10.2024);

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
(протокол № 3 от 15.11.2024);

Научно-методическим советом по электронным системам и технологиям Учебно-методического объединения по образованию в области информатики и радиоэлектроники (протокол № 2 от 16.10.2024)

Ответственный за редакцию: С.С.Шишпаронок

**Пояснительная записка**

ХАРАКТЕРИСТИКА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Примерная учебная программа по учебной дисциплине «Аддитивные технологии в производстве электронных систем» разработана для магистрантов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности
7-06-0713-02 «Электронные системы и технологии» в соответствии с требованиями образовательного стандарта углубленного высшего образования и примерного учебного плана вышеуказанной специальности.

Учебная дисциплина «Аддитивные технологии в производстве электронных систем» является одной из основополагающих в технологической подготовке по специальности 7-06-0713-02 «Электронные системы и технологии» и ориентирована на изучение инновационных и энергосберегающих технологий производства современных электронных систем и приборов, используемых в средствах телекоммуникаций и в программно-управляемом оборудовании.

Воспитательное значение учебной дисциплины «Аддитивные технологии в производстве электронных систем» заключается в формировании у обучающихся математической культуры и научного мировоззрения; развитии исследовательских умений, аналитических способностей, креативности, необходимых для решения научных и практических задач; развитии познавательных способностей и активности: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности; формировании способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации.

Изучение данной учебной дисциплины способствует созданию условий для формирования интеллектуально развитой личности обучающегося, которой присущи стремление к профессиональному совершенствованию, активному участию в экономической и социально-культурной жизни страны, гражданская ответственность и патриотизм.

ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель учебной дисциплины: изучение современных аддитивных технологических процессов инновационного производства электронных систем 3D-интеграции.

Задачи учебной дисциплины:

изучение физико-технических основ технологических процессов производства электронных приборов 3D-интеграции;

приобретение знаний в области разработки и внедрения автоматизированных технологических процессов и программно-управляемого технологического оборудования для производства электронных систем и приборов 3D-интеграции;

овладение методиками оптимизации параметров сложных технологических процессов, оценки точности и настроенности технологического оборудования и контроля качества электронных приборов в соответствии с международными стандартами.

Базовыми учебными дисциплинами для учебной дисциплины «Аддитивные технологии в производстве электронных систем» являются знания, полученные при освоении образовательной программы общего высшего образования по специальности 6-05-0713-02 «Электронные системы и технологии»*.* В свою очередь учебная дисциплина «Аддитивные технологии в производстве электронных систем» является базой для таких учебных дисциплин компонента учреждения образования, как «Адаптивные информационно-измерительные системы технологического оборудования», «Компьютерный инжиниринг и цифровое производство».

ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ

 СОДЕРЖАНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения учебной дисциплины «Аддитивные технологии в производстве электронных систем» формируются следующие компетенции:

*универсальная:* развивать инновационную восприимчивость и способность к инновационной деятельности;

*углубленная профессиональная:* проектировать технологии производства электронных систем с применением аддитивных технологий.

В результате изучения учебной дисциплины обучающийся должен:

*знать:*

функциональную структуру разрабатываемых 3D-систем (интеграция механической, электронной, оптической систем);

технологические процессы и оборудование для дискретного и группового методов формирования внутренних межсоединений и контактных систем;

современные методы сборки 3D-модулей (чип на чипе, пластина на пластине, корпус на корпусе);

эффективные методы контроля качества межсоединений на различных стадиях создания 3D-структур;

*уметь:*

работать с информацией из различных источников, включая источники на иностранном языке;

проводить эксперименты по заданной методике, анализировать результаты экспериментов, защищать права на объекты интеллектуальной собственности;

организовать эффективную работу в коллективе, направленную на создание новых образцов 3D-систем и технологий их производства;

*иметь навык:*

обоснованного выбора композиционных материалов для корпусов, печатных плат, теплоотводов и герметизирующих структур для электронных устройств, включая 3D-изделия, с заданными электрическими характеристиками и условия эксплуатации;

работы с прикладными пакетами автоматизированных систем научных исследований для моделирования и оптимизации технологических процессов производства изделий 3D-интеграции;

разработки программ работы программно-управляемого оборудования для формирования 3D-структур.

Примерная учебная программа рассчитана на 100 учебных часов, из них – 40 аудиторных. Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий: лекции – 16 часов, лабораторные занятия – 24 часа.

**ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН**

| Наименование раздела, темы | Всего аудиторных часов | Лекции  | Лабораторные занятия  |
| --- | --- | --- | --- |
| Введение | 2 | 2 |  |
| **Раздел 1.** **Структура и классификация аддитивных технологий** | **2** | **2** |  |
| Тема 1. Определения, структура и классификация аддитивных технологий | 2 | 2 |  |
| **Раздел 2.** **Технология литых монтажных оснований для производства электронных систем** | **12** | **4** | **8** |
| Тема 2. Основополагающие принципы MID-технологии  | 6 | 2 | 4 |
| Тема 3. Материалы для изготовления деталей на 3D принтере | 6 | 2 | 4 |
| **Раздел 3.** **Структурирование и металлизация 3D MID-оснований** | **6** | **2** | **4** |
| Тема 4. Методы структурирования MID-оснований | 6 | 2 | 4 |
| **Раздел 4. Технология сборки 3D-MID изделий** | **12** | **4** | **8** |
| Тема 5. Монтаж компонентов на трехмерные основания | 6 | 2 | 4 |
| Тема 6. Аддитивные технологии межсоединений высокой плотности | 6 | 2 | 4 |
| **Раздел 5. Технологии изготовления многослойных структур электронных модулей**  | **6** | **2** | **4** |
| Тема 7. Технология поверхностных ламинарных схем | 6 | 2 | 4 |
| **Итого:** | **40** | **16** | **24** |

**СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

ВВЕДЕНИЕ

Основные направления интеграции электронных систем. Общее представление аддитивного производства. Преимущества аддитивного производства.

Раздел 1. СТРУКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Тема 1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СТРУКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Определения, структура и классификация аддитивных технологий. Современные аддитивные технологии инновационного производства электронных систем и приборов.

Раздел 2. ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЫХ МОНТАЖНЫХ ОСНОВАНИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Тема 2. ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ПРИНЦИПЫ MID-ТЕХНОЛОГИИ

Классификация 3D MID-оснований. Потенциальные возможности 3D MID-технологии. Факторы, обусловливающие выбор 3D MID-технологии. Области применения 3D MID-технологии. Типовой процесс изготовления 3D MID-изделий.

Тема 3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА 3D-ПРИНТЕРЕ

Органические проводящие и полупроводящие материалы, их характеристики и особенности применения. Высокотемпературные термопласты, их классификация и физико-механические свойства.

Раздел 3. СТРУКТУРИРОВАНИЕ И МЕТАЛЛИЗАЦИЯ 3D MID-ОСНОВАНИЙ

Тема 4. МЕТОДЫ СТРУКТУРИРОВАНИЯ MID-ОСНОВАНИЙ

Методы структурирования MID-оснований: плазменный, лазерный аддитивный и субтрактивный, литография, печатные технологии, горячее тиснение. Химические и физические методы металлизации MID-оснований.

Раздел 4. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ 3D-MID ИЗДЕЛИЙ

Тема 5. МОНТАЖ КОМПОНЕНТОВ НА ТРЕХМЕРНЫЕ ОСНОВАНИЯ

Монтаж компонентов на трехмерные основания. Автоматизированное нанесение монтажных средств на поверхность 3D MID-изделий. Методы автоматизированной сборки.

Тема 6. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ

Характеристики и структуры электрических межсоединений высокой плотности (HDI). Материалы для изготовления микропереходов по технологии HDI. Аддитивные технологические процессы изготовления соединений высокой плотности

Раздел 5**.** ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Тема 7. ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЛАМИНАРНЫХ СХЕМ

Структура (DV-PID). Технологии формирования микропереходов в подложках с помощью лазера. Технологии формирования микропереходов плазмой.

**ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Гибсон, Я. Технология аддитивного производства / Я. Гибсон, Д. Розен, Б. Стакер. – Москва : Техносфера, 2020. – 648 с.
2. Франке, Й. 3D MID. Материалы, технологии, свойства: пер. с англ. яз. / Й. Франке, под ред. И. А. Волкова. – Санкт-Петербург : Профессия, 2014. – 336 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Инновационные технологии и оборудование субмикронной электроники / под ред. А. П. Достанко. – Минск : Беларуская навука, 2020. – 260 с.
2. Ланин, В. Л. Аддитивные технологии инновационного производства. Лабораторный практикум : пособие / В. Л. Ланин, И. В. Самуйлов. – Минск : БГУИР, 2021.–76 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И

ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЩАЮЩИХСЯ

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

изучение учебного материала лекций и лабораторных работ с использованием электронных ресурсов,

подготовка отчетов к лабораторным занятиям с использованием компьютерной техники.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ

КОМПЕТЕНЦИЙ ОБУЩАЮЩИХСЯ

Примерным учебным планом по специальности 7-06-0713-02 «Электронные системы и технологии» в качестве формы промежуточной аттестации по учебной дисциплине «Аддитивные технологии в производстве электронных систем» рекомендуется экзамен. Оценка учебных достижений обучающихся производится по десятибалльной шкале.

Для текущего контроля по учебной дисциплине и диагностики компетенций обучающихся могут использоваться следующие формы:

контрольная работа,

выборочный опрос на лекциях,

защита лабораторных работ.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕТОДЫ (ТЕХНОЛОГИИ) ОБУЧЕНИЯ

Основные рекомендуемые методы (технологии) обучения, отвечающие целям и задачам учебной дисциплины:

словесные методы (лекции, книги, беседы, дискуссии);

наглядные методы (видеоматериалы, явления, наглядные пособия);

практические методы (лабораторные работы).

Примерный перечень ТЕМ лабораторных ЗАНЯТИЙ

1. Разработка компьютерной модели для изготовления MID-изделий на 3D-принтере.
2. Исследование процесса изготовления MID-изделий на 3D-принтере.
3. Исследование технологии лазерного структурирования MID-изделий.
4. Технология сборки и монтажа интегрированных электронных модулей.
5. Микропроцессорное управление технологическими процессами пайки SMD-компонентов.
6. Исследование лазерной микропайки при сборке модулей 3D-интеграции.

Примерный перечень компьютерных программ

1. Comsol Multiphysics.
2. SolidWorkss Flow Simulation.