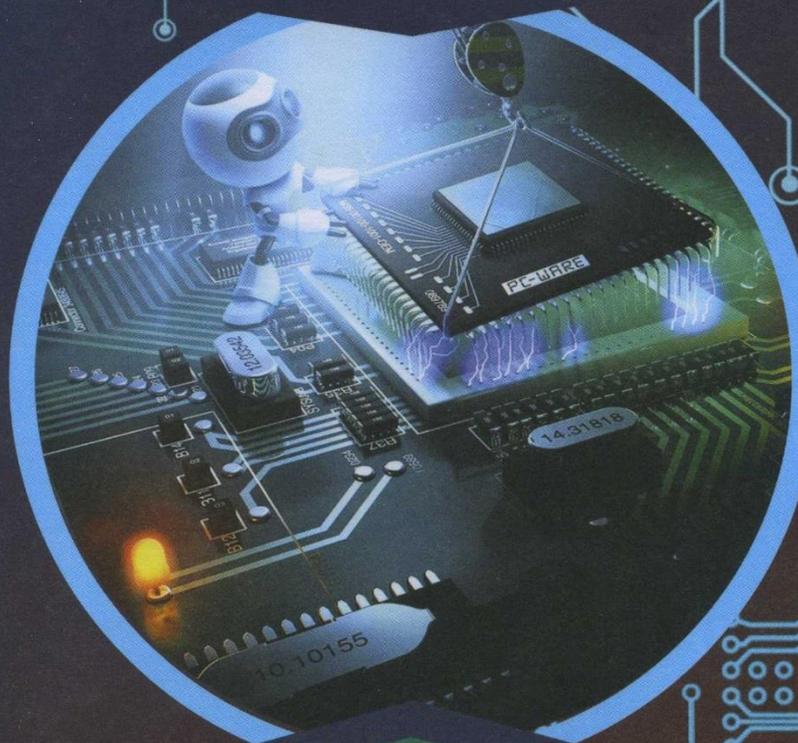


В.Л. Ланин А.А. Хмыль



ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

ДЛЯ СТУДЕНТОВ УЧРЕЖДЕНИЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

В.Л. Ланин, А.А. Хмыль

**ТЕХНОЛОГИЯ
ПРОИЗВОДСТВА
ЭЛЕКТРОННЫХ
СРЕДСТВ**

Минск
ВЫШЭЙЦАЯ ШКОЛА
2019

УДК 621.396.6. (075.8)

ББК 32.85-06я 73

Л22

Рецензенты:

кафедра конструирования и производства приборов учреждения образования
«Белорусский национальный технический университет»,
член-корреспондент НАН Беларуси, д.т.н., профессор *Ф.И. Пантелеенко*

Ланин В. Л., Хмыль А. А. Технология производства электронных средств: учебное пособие. –
Минск: Высшая школа, 2019. - _455_с: ил.

ISBN 978-985-06-3167-1

Рассмотрены общие принципы проектирования, моделирования и автоматизации технологических процессов производства электронных средств, программно-управляемое технологическое оборудование, автоматизированные системы управления технологическими процессами. Описаны физико-технологические основы процессов сборки, монтажа и защиты электронных средств от климатических воздействий.

Для студентов специальностей «Проектирование и производство программно-управляемых электронных средств», «Моделирование и компьютерное проектирование радиоэлектронных средств», «Электронные системы и технологии», а также аспирантов и магистрантов.

УДК 621.396.6. (075.8)

ББК 32.85-068я 73

© В.Л. Ланин, А.А. Хмыль,
2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

Технология – это наука, которая изучает основные закономерности, действующие в процессе производства, и использует их для получения изделий требуемого качества, заданного количества и номенклатуры при минимальных материальных, энергетических и трудовых затратах. Технология (от греческого *techne* – умение, мастерство, *logos* – наука) – это наука о мастерстве.

Предмет дисциплины – технология сборки, монтажа, настройки и регулировки электронных средств, а также программно-управляемое оборудование и средства автоматизации технологических процессов.

Цель преподавания дисциплины – изучение технологических систем производства, включая методы проектирования и управления оптимальными технологическими процессами с применением микропроцессоров и микроконтроллеров, обеспечивающих интенсификацию и эффективность производства, высокое качество изготавливаемой продукции, изучение средств автоматизации, в том числе гибких производственных систем, методов моделирования, оптимизации, анализа и синтеза технологических систем производства.

В результате изучения дисциплины студенты должны знать физико-технологические основы процессов сборки и монтажа, контроля, регулировки модулей и блоков электронных средств, методику их компьютерного проектирования и оптимизации, принципы построения и управления технологическими системами производства в условиях гибких автоматизированных производств, уметь разрабатывать и внедрять новые технологические процессы автоматизированного производства с использованием промышленных роботов и микропроцессорных систем, уметь проектировать технологические планировки участков с применением микропроцессорных систем управления.

Учебник обобщает достижения современной отечественной и зарубежной технологии и состоит из 16 глав, в которых описываются технологические системы производства электронных средств, принципы их проектирования, оценки точности и надежности, моделирования и оптимизации.

С позиции конструктивно-технологического анализа дана оценка поколений электронных средств и технологичности конструкций электронных модулей. Подробно рассмотрены вопросы проектирования производственных процессов, анализа производственных погрешностей изделий и оценки технологической точности их изготовления, основы

функционирования технологических систем и методика их моделирования. Уделено внимание вопросам технологического мониторинга, моделирования систем массового обслуживания и статистического моделирования сборочных процессов.

Значительное место уделено физико-технологическим основам процессов и оборудованию для производства коммутационных плат, намоточных изделий, сборки и монтажа блоков, контроля, регулировки, тренировки и герметизации аппаратуры. Систематизированы технологии электрических и механических соединений при сборке электронной модулей, групповой пайки, внутри- и межблочного монтажа, методы и средства технической диагностики, применяемое технологическое и контрольно-испытательное оборудование.

Большое внимание уделено вопросам автоматизации производства, гибким производственным системам, автоматизированным системам управления и проектирования технологических процессов, автоматическим линиям, автоматизированным комплексам и гибким производственным модулям в производстве электронных средств.

Изложение материала основано на опыте преподавания авторами дисциплины «Технология радиоэлектронных средств» в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники в течение 30 лет на кафедре «Электронная техника и технология».

Авторы считают своим приятным долгом выразить признательность рецензентам: зав. кафедрой конструирования и производства приборов Белорусского национального университета, доктору техн. наук, профессору М.Г. Киселеву и члену-корреспонденту Национальной академии наук Республики Беларусь, доктору техн. наук, профессору Ф.И. Пантелеенко.

Все отзывы и пожелания просим направлять по адресу: 220013, Минск, ул. П. Бровки 6, БГУИР, кафедра "Электронной техники и технологии".

Авторы

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие.....	8
Список сокращений.....	10
Г л а в а 1. Проектирование технологических процессов производства электронных средств.....	11
1.1. Системный подход к технологии и иерархические уровни производства	11
1.2. Структура производственного процесса, виды и типы технологических процессов.....	16
1.3. Технологическая система подготовка производства и порядок проектирования технологических процессов	22
1.4. Выбор оптимального варианта технологического процесса	29
1.5. Конструктивно-технологические особенности электронных модулей и блоков.....	35
1.6. Технологичность конструкций электронных модулей.....	40
1.7. Проектирование сборочно-монтажных работ.....	45
1.8. Разработка и оформление технологической документации.....	52
1.9. Автоматизированное проектирование технологических процессов.....	58
Г л а в а 2. Моделирование и оптимизация технологических процессов.....	65
2.1 Модели технологических систем.....	65
2.2 Регрессионный анализ технологических процессов.....	68
2.3 Моделирование методом полного факторного эксперимента.....	70
2.4 Методы оптимизации технологических процессов	75
2.5 Моделирование систем массового обслуживания	84
2.6 Статистическое моделирование сборочных процессов.....	87
Г л а в а 3. Точность и надежность технологических процессов.....	105
3.1. Производственные погрешности и законы их распределения.....	105
3.2. Методы анализа производственных погрешностей.....	112
3.3. Точность и устойчивость технологических процессов.....	117
3.4. Методы обеспечения заданной точности технологических процессов.....	120
3.5. Надежность технологических процессов.....	124

Г л а в а 4. Технология печатных и многослойных плат	129
4.1. Конструктивно-технологические требования, предъявляемые к платам и печатному монтажу	129
4.2. Классификация плат и методов их изготовления	135
4.3. Материалы для изготовления печатных плат	140
4.4. Формирование рисунка схемы	143
4.5. Травление меди с пробельных мест	155
4.6. Химическая и электрохимическая металлизация	161
4.7. Механическая обработка печатных плат	169
4.8. Технология односторонних и двусторонних печатных плат	175
4.9. Технология многослойных печатных плат	182
4.10. Платы с высокой плотностью межсоединений	194
4.11. Гибкие и гибко-жесткие платы	197
4.12. Тестирование и испытания плат	201
Г л а в а 5. Технология и оборудование для изготовления намоточных изделий	208
5.1. Конструктивно-технологические особенности намоточных изделий	208
5.2. Материалы проводов, каркасов и экранов	212
5.3. Оборудование и типовые процессы намотки	214
5.4. Тормозные устройства	219
5.5. Измерение натяжения провода	220
5.6. Автоматизация контроля намоточных изделий	222
5.7. Выбор оптимального натяжения провода при намотке	224
Г л а в а 6. Технология разъемных и неразъемных механических соединений	227
6.1. Классификация механических соединений и области их применения	227
6.2. Разъемные соединения	228
6.3. Неразъемные соединения	233
6.4. Пайка механических соединений	240
6.5. Конструкционная сварка	245
6.6. Обеспечение точности при выполнении механических соединений	252
Г л а в а 7. Технология электромонтажных соединений	255
7.1. Методы создания электромонтажных соединений	255
7.2. Физико-химическое содержание процесса пайки	261

7.3.	Припой, флюсы, пасты.....	282
7.4.	Технологические основы индивидуальной пайки.....	289
7.5.	Контроль качества паяных соединений.....	296
7.6.	Физико-технологическое содержание сварки.....	305
7.7.	Монтажная микросварка.....	310
7.8.	Накрутка, обжимка и запрессовка.....	324
Глава 8. Сборка электронных модулей на печатных платах.....		337
8.1.	Структура технологического процесса сборки.....	337
8.2.	Входной контроль и его оптимизация.....	338
8.3.	Подготовка компонентов к монтажу.....	345
8.4.	Установка компонентов на платы.....	348
8.5.	Автоматическое оборудование для сборки.....	351
Глава 9. Пайка электронных модулей на печатных платах.....		356
9.1.	Классификация способов групповой пайки.....	356
9.2.	Пайка погружением.....	358
9.3.	Волновые способы пайки.....	360
9.4.	Пайка групповым инструментом.....	368
9.5.	Пайка летучим теплоносителем.....	371
9.6.	Подготовительные операции при групповой пайке.....	373
Глава 10. Поверхностный монтаж электронных модулей.....		379
10.1.	Типы поверхностно-монтируемых элементов.....	379
10.2.	Поверхностный монтаж и его разновидности.....	383
10.3.	Технология дозирования паяльных паст.....	388
10.4.	Методы и оборудование установки элементов на платы.....	392
10.5.	Оценка точности позиционирования и способы центрирования элементов.....	395
10.6.	Методы пайки поверхностного монтажа.....	398
10.7.	Технология пайки модулей со смешанным монтажом.....	400
10.8.	Типичные дефекты поверхностного монтажа.....	404
Глава 11. Технология сборки и монтажа микромодулей.....		408
16.1.	Технология монтажа кристаллов.....	408
16.2.	Монтаж компонентов жестко организованными выводами.....	423

16.3. Технология многокристалльных и 3D модулей.....	430
16.4. Сборка и монтаж СВЧ микромодулей.....	433
16.5. Конструктивно-технологические особенности волоконно-оптических модулей.....	437
16.6. Сборка и монтаж светодиодных модулей и панелей.....	441
Г л а в а 12. Внутри- и межблочный монтаж электронных средств.....	445
16.7. Технические требования к монтажу.....	445
16.8. Подготовка проводов к монтажу.....	456
16.9. Технология жгутового монтажа.....	453
16.10. Монтаж плоскими ленточными кабелями.....	456
Г л а в а 13. Технология контроля и диагностики.....	460
12.1. Виды контроля.....	460
12.2. Диагностика неисправностей.....	467
12.3. Методы и средства технической диагностики.....	470
Г л а в а 14. Технология регулировки и тренировки.....	480
13.1. Методы регулировки.....	480
13.2. Настройка и регулировка параметров радиоприемников.....	482
13.3. Технологическая тренировка и испытания.....	494
Г л а в а 15. Герметизация микроблоков и модулей.....	502
14.1. Классификация методов герметизации.....	502
14.2. Физико-технологические основы процессов покровной герметизации.....	504
14.3. Материалы для герметизации и их свойства.....	511
14.4. Герметизация в вакуумно-плотные корпуса.....	514
14.5. Герметизация пайкой.....	517
14.6. Контроль качества герметизации.....	519
Г л а в а 16. Программно-управляемые технологические системы и производства...522	522
17.1 +Технологические системы и их основные показатели	522
17.2 Принципы управления технологическими системами.....	525
17.3 АСУ ТП и основные функции подсистем.....	528
17.4 Технические средств АСУ ТП.....	530
17.5 Автоматизированные технологические комплексы интегрированного производства.....	535

17.6 CALS–технологии компьютеризированного производства.....	538
17.7 Инженерное обеспечение производства электронных средств.....	539
Список литературы.....	543