

### 4.3. СПЕЦИФИКАЦИЯ УЧЕБНЫХ ВИДЕО- И АУДИОМАТЕРИАЛОВ, СЛАЙДОВ, ЭСКИЗОВ ПЛАКАТОВ И ДРУГИХ ДИДАКТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

#### 4.3.1. СПЕЦИФИКАЦИЯ СЛАЙДОВ – КОНСПЕКТОВ ЛЕКЦИЙ

Название раздела	Число слайдов
<b>1. Введение в технологию коммутационных структур</b>	<b>12</b>
Виды коммутационных структур и их конструкторско-технологические особенности. Геометрия и электрические параметры структур и их применение в электронных модулях ЭВС. Классификация коммутационных структур по назначению, физико-механическим параметрам, геометрическим параметрам и возможности перехода к наноразмерам	
<b>2. Коммутационные структуры на жестких и гибких носителях – печатные платы</b>	<b>14</b>
Конструктивно-технологические особенности коммутационных структур микроуровня. Элементы проводящего рисунка. Классы точности и плотности проводящего рисунка. Расчет геометрических параметров. Типы коммутационных структур: односторонние, двусторонние и многослойные. Многослойные структуры с наращиваемыми наружными слоями. Материалы: фольгированные и нефольгированные диэлектрики, тонкие диэлектрические пленки, адгезивные материалы, фотопроявляемые диэлектрики, проводящие материалы: фольга, осаждаемые слои, иммерсионные покрытия. Способы получения рисунка коммутационных структур: фотографический, сеткографический, фотоформирование, механический. Физические схемы и технологии реализации способов. Геометрическая точность рисунка. Способы получения проводящего рисунка структур: химический – травление, химический – осаждение, электрохимический – наращивание. Промышленные методы изготовления односторонних (ОКС) и двусторонних коммутационных структур (ДКС): химический метод, комбинированный позитивный метод, тентинг-метод, электрохимический метод, фотоаддитивный метод. Геометрия проводящего рисунка. Области применения. Оборудование. Промышленные методы изготовления многослойных коммутационных структур (МКС): метод металлизации сквозных отверстий, метод попарного прессования, метод послыогого наращивания, метод открытых контактных площадок. Технология HDI (High Density Interconnections). Совмещение слоев МКС. Гибко-жесткие коммутационных структур. Назначение и применение. Технология производства. Особенности	
<b>3. Коммутационные структуры в жидкокристаллических и плазменных панелях</b>	<b>4</b>
Конструкционные особенности жидкокристаллических панелей. Технология изготовления прозрачных электродов адресной матрицы. Коммутация тонкопленочных транзисторов. Конструкционные особенности плазменных панелей. Способы получения проводящих электродов	

<b>4. Оптоволоконные коммутационные структуры</b>	<b>19</b>
Оптические коммуникации и проводящие среды. Преимущества и недостатки в сравнении с металлическими. Перспективы использования. Оптическое волокно. Классификация. Основные параметры. Конструкционные особенности. Технология изготовления. Печатные платы с оптоволоконными проводниками	
<b>5. Электрический монтаж модулей микро- и наносистем на основе МКС</b>	<b>26</b>
Контактные соединения. Анализ контактных соединений, полученных пайкой, сваркой, склеиванием, с помощью разъемов и др. Виды монтажа: печатный, проводной на МКС, навесной на МКС, монтаж накруткой, жгутовой, монтаж плоским ленточным кабелем. Проводной монтаж на МКС. Технология раскладки проводов. Способы получения контактных соединений. Технологичность и сравнительная оценка. Навесной монтаж на МКС. Основные этапы и операции. Подготовка элементов к монтажу. Способы установки элементов. Пайка выводов: пайка волной, селективная, ручная. Технологичность и сравнительная оценка. Технология поверхностного монтажа компонентов. Конструктивно-технологические особенности КМП. Требования к печатным платам. Нанесение паяльной пасты и клеящих составов. Установка КМП: ручная, автоматическая. Технологичность и сравнительная оценка. Проводной монтаж ЭМ высших уровней. Монтаж ленточными соединителями и жгутами. Способы получения контактных соединений	
<b>6. Технологическая подготовка производства микро- и наносистем</b>	<b>24</b>
Основы проектирования ТП. Основные этапы разработки ТП. Методика анализа конструкций ЭМ. Технологичность узлов и деталей. Качественная и количественная оценка технологичности. Способы повышения технологичности. Разработка ТП. Методика разработки схем сборки микро- и наносистем с базовой деталью. Составление маршрутных ТП. Выбор оборудования и средств технологического оснащения. Проектирование технологических операций. Разработка структуры операции и последовательности переходов. Основные положения теории базирования. Схемы базирования и установки деталей. Расчет погрешностей базирования при сборке. Точность технологических операций. Расчет допустимых погрешностей. Экономическая и технологическая эффективность операций. Технологическая документация. Операционные эскизы и их оформление. Операционные карты. Проектирование технологической оснастки. Технологические приспособления. Методика расчета сборочно-монтажных приспособлений. Разработка последовательности переходов. Особенности операций с наноразмерными допусками и размерными рядами. Конструирование приспособлений. Контроль и диагностика МКС. Визуальный контроль. Электрический контроль. Рентгеновский контроль	

### 4.3.2. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ДИДАКТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЛЕКЦИЯМ

В разделе приведен типовой пример оформления дидактического материала по дисциплине «Коммутационные микро- и нано-структуры» – конспект материалов лекций, содержащих основные определения, теоретические основы физических принципов, а также примеры. Методологически курс лекций строится на основе оптимального соотношения теоретических и прикладных вопросов реализацией проектных методов обучения. Структура материала отличается реализацией блочно-вариативной концепции и внедрением проектных методов подготовки специалистов по «Наноинженерии».

Типовая структура слайда должна содержать: название лекции (темы), название кафедры, введение (цель изучения лекции, краткая характеристика содержания), заключение, выводы, вопросы задания для самопроверки, список рекомендуемой литературы.



## Введение в технологию коммутационных структур

**Печатная плата (ПП) (плата печатного монтажа)** - Изделие, состоящее из одного или двух проводящих рисунков, расположенных на поверхности основания, или из системы проводящих рисунков, расположенных в объеме и на поверхности основания, соединенных между собой в соответствии с электрической схемой печатного узла, предназначенное для электрического соединения и механического крепления устанавливаемых на нем изделий электронной техники, квантовой электроники и электротехнических изделий.

**Основание печатной платы** - Элемент конструкции печатной платы, на поверхности или на поверхности и в объеме которого расположен проводящий рисунок или система проводящих рисунков печатной платы.



## Введение в технологию коммутационных структур

- **Основание печатной платы** — Элемент конструкции печатной платы, на поверхности или на поверхности и в объеме которого расположен проводящий рисунок или система проводящих рисунков печатной платы.
- **Коммутационные структуры (КС)** — специальным образом сформированные проводящие среды, предназначенные для коммутации и передачи сигналов между различными модулями и субмодулями ЭВС.



Технология коммутационных систем

МГТУ им. Н. Э. Баумана

2



## Введение в технологию коммутационных структур

- **Рисунок печатной платы** — конфигурация, образованная проводниковым и (или) диэлектрическим материалом на печатной плате.
- **Проводящий рисунок печатной платы** — рисунок печатной платы, образованный проводниковым материалом на основании или в объеме.

Примечание: проводящий рисунок состоит из печатных проводников, контактных площадок, экранов, металлизированных отверстий, теплоотводящих и других печатных компонентов.

- **Непроводящий рисунок печатной платы** — рисунок печатной платы, образованный диэлектрическим материалом основания печатной платы.

Технология коммутационных систем

МГТУ им. Н. Э. Баумана

3



## Введение в технологию коммутационных структур

### Виды печатных плат по расположению проводящего рисунка:

- Односторонняя печатная плата (ОПП) — печатная плата, на одной стороне основания которой выполнен проводящий рисунок.
- Двусторонняя печатная плата (ДПП) — печатная плата, на обеих сторонах основания которой выполнены проводящие рисунки.
- Многослойная печатная плата (МПП) — печатная плата, состоящая из чередующихся проводящих и непроводящих рисунков, соединенных в соответствии с электрической схемой печатного узла.
- Двухуровневая печатная плата (Нрк. РИТМ-плата) — печатная плата, имеющая проводящие рисунки в двух, разделенных воздушными зазорами, уровнях, электрически соединенных металлическими столбиками, образованными одновременно с проводящими рисунками травлением металлической пластины.
- Рельефная печатная плата — печатная плата, на которой проводящий рисунок или его часть утоплена в основание печатной платы.



## Понятие печатного монтажа

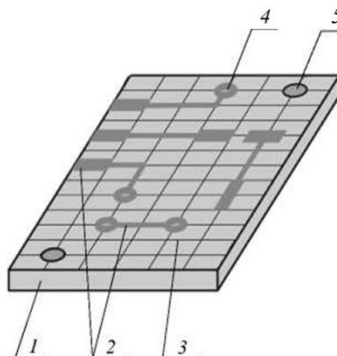
- **Печатный монтаж** - способ монтажа электронных модулей (ЭМ) аппаратуры, при котором электрические соединения выполнены с помощью печатных проводников.
- Проводники размещены на диэлектрическом основании и образуют проводящий рисунок.
- Основание конечных размеров с проводящим рисунком и необходимыми отверстиями является печатной платой



## Понятие печатного монтажа

Схема печатной платы:

- 1 - основание печатной платы;
- 2 - проводящий рисунок;
- 3 - непроводящий рисунок;
- 4 - металлизированное отверстие;
- 5 - конструкционное отверстие



## Элементы конструкции ПП

- Печатный проводник — одна полоска в проводящем рисунке печатной платы.
- Печатный контакт — часть проводящего рисунка печатной платы, представляющая собой часть электрического контакта.
- Печатный компонент (Нрк. печатный элемент) — электронный компонент, являющийся частью проводящего и непроводящего рисунков печатной платы.

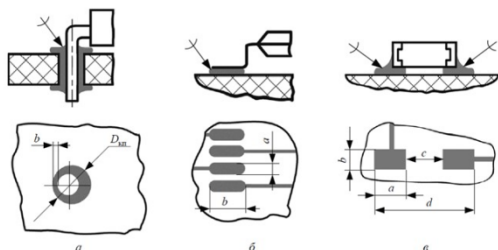
Примечание: к печатным компонентам относятся резистор, конденсатор и др.

- Погружной печатный компонент — печатный компонент, расположенный на внутреннем слое печатной платы.
- Проводящий слой печатной платы — проводящий рисунок печатной платы, расположенный в одной плоскости.
- Внутренний слой печатной платы — проводящий рисунок печатной платы, расположенный внутри многослойной печатной платы.
- Внешний слой печатной платы — проводящий рисунок печатной платы, расположенный на наружной стороне печатной платы.



## Контактные площадки (КП)

Контактные площадки (КП) проводящего рисунка ППП предназначены для надежного электрического соединения выводов навесных компонентов, монтируемых на плате, с печатным монтажом.



Типы контактных площадок в проводящем рисунке ППП:

- а – в зоне монтажных или переходных отверстий;
- б – для соединения планарных выводов ИМС с печатным монтажом;
- в – для соединения компонентов, монтируемых на поверхности основания ППП, с печатным монтажом



## Отверстия печатной платы

- Сквозное металлизированное отверстие печатной платы — металлизированное отверстие печатной платы, соединяющее между собой проводящие рисунки внутренних и (или) внешних слоев печатной платы и имеющее выходы на обе стороны печатной платы.
- Глухое металлизированное отверстие печатной платы — металлизированное отверстие печатной платы, имеющее выход только на одну из сторон печатной платы.
- Не металлизированное отверстие печатной платы — отверстие в печатной плате без проводникового материала на его стенке.
- Монтажное отверстие печатной платы — отверстие, предназначенное для электрического подсоединения к проводящему рисунку печатной платы выводов изделий электронной техники, квантовой электроники и электротехнических изделий.



## Отверстия печатной платы

- Переходное отверстие печатной платы — металлизированное отверстие печатной платы, предназначенное для электрического соединения проводящих рисунков печатной платы, находящихся на разных проводящих слоях печатной платы.
- Внутреннее соединение проводящих рисунков — часть проводящего рисунка печатной платы, предназначенная для соединения проводящих рисунков на внутренних слоях печатной платы.
- Крепежное отверстие печатной платы — неметаллизированное отверстие печатной платы, предназначенное для механического крепления печатной платы к базовой несущей конструкции или для механического крепления изделий электронной техники, квантовой электроники и электротехнических изделий на печатной плате.



## Металлизированные монтажные и переходные отверстия

Виды основных отверстий ППП:

а – неметаллизированное монтажное в односторонней ППП (ОПП);

б – металлизированное переходное в двусторонней ППП (ДПП);

в – пистонированное переходное в ДПП;

г – металлизированное монтажное в ДПП;

д – сквозное, металлизированное в МПП;

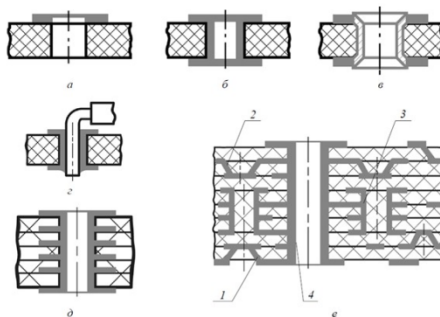
е – отверстия в МПП с высокой плотностью проводящего рисунка.

1 – глухой микропереход;

2 – скрытый глухой микропереход;

3 – внутреннее скрытое переходное отверстие;

4 – сквозное металлизированное отверстие







## Координатная сетка

- Координатная сетка чертежа печатной платы — сетка, определяющая положение элементов рисунка печатной платы в прямоугольной системе координат.
- Шаг координатной сетки печатной платы — расстояние между двумя соседними параллельными линиями координатной сетки чертежа печатной платы.

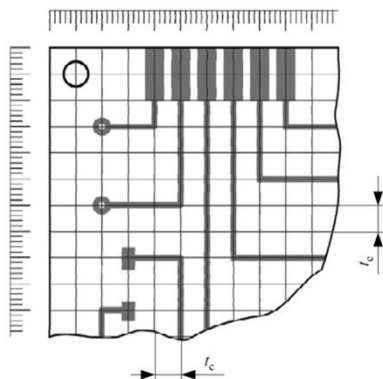


## Координатная сетка

Координатная сетка определяет положение всех конструктивных элементов ПП:

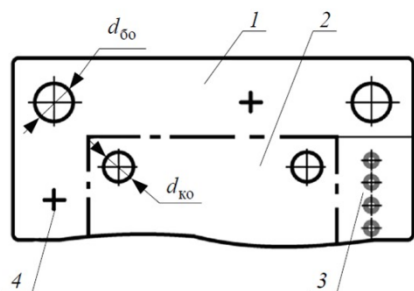
- прокладка сигнальных проводников и шин по линиям сетки, параллельно или под определенными углами ( $90^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $30^\circ$ ) к сетке;
- размещение отверстий в узлах сетки;
- размещение КП в узлах сетки.

Координатная сетка наносится на рабочем чертеже ПП с указанием шага ( $t_c = 2,5$ ;  $1,25$ ;  $0,625$ ;  $0,5$ ). Как правило, шаг сетки согласуют с шагом выводов ИМС. На изготовленной ПП шаг сетки не нанесен.





## Технологическое поле



Технологическое поле заготовки ПП:

1 – поле по периметру заготовки;

2 – рабочее поле ПП;

3 – тест-купон;

4 – реперный знак;

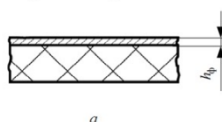
$d_{ко}$  – диаметр контактных отверстий;

$d_{60}$  – диаметр базовых отверстий

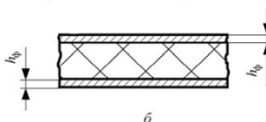


## Исходные материалы для изготовления ПП

Исходными материалами для изготовления ПП служат фольгированные диэлектрики и не фольгированные диэлектрики.



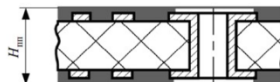
а



б



в



г

Схемы состояния материалов ПП:

а – односторонне фольгированный диэлектрик;

б – двусторонне фольгированный диэлектрик;

в – нефольгированный диэлектрик с адгезионным слоем;

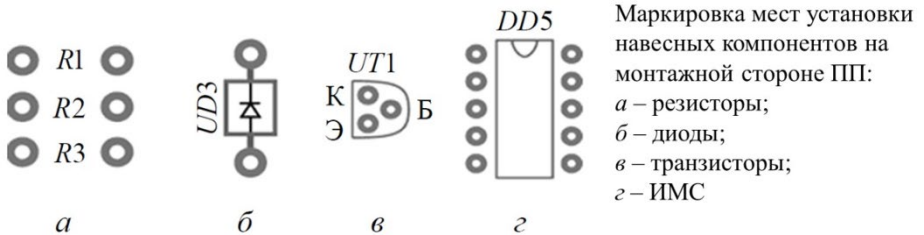
г – двусторонняя ПП с паяльной маской



## Маркировка мест установки навесных компонентов на монтажной стороне ПП

- Маркировка печатной платы — совокупность знаков и символов на печатной плате.

Примечание: к символам относятся буквы, цифры и т.д.



## Классы точности и плотности печатного монтажа

- Класс точности печатной платы — условное цифровое обозначение, характеризующее наименьшие номинальные значения размеров элементов рисунка печатной платы и определяющее значения допусков на размеры этих элементов.
- Конструктор задает класс точности на рабочем чертеже ПП. Принятый на предприятии технологический процесс изготовления ПП должен обеспечить заданный класс точности.
- В процессе трассировки осуществляется прокладка сигнальных печатных проводников в габаритах рабочего поля платы при наличии всех элементов проводящего рисунка (контактные площадки, шины земли и питания, КПК, экраны) и конструктивных элементов ПП (геометрия наружного контура, конструкционные отверстия, пазы и окна, крепежные отверстия).



## Классы точности и плотности печатного монтажа

Параметры ПП согласно классам точности

Условное обозначение параметра ПП	Номинальное значение параметров для классов точности, мм						
	1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс	5-й класс	6-й класс	7-й класс
$t$	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
$s$	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
$b$	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025	0,020	0,015
$\gamma = \frac{d_{\text{мн}}}{H_{\text{пп}}}$	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20	0,187	0,15... 0,125
$\delta t$ , мм	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	0; - 0,03	0; - 0,02	0; - 0,015

$t$  – минимальная ширина сигнального проводника;

$s$  – минимальное расстояние между проводниками или любыми элементами проводящего рисунка;

$b$  – минимальная ширина круглой контактной площадки (гарантированный пояс, определяющий её целостность);

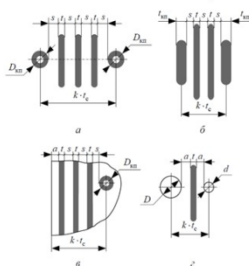
$\gamma$  – отношение диаметра наименьшего металлизированного отверстия  $d_{\text{мн}}$  к толщине ПП  $H_{\text{пп}}$ ;

$\delta t$  – допуск на ширину проводника, контактной площадки или любого другого элемента проводящего рисунка.



## Классы точности и плотности печатного монтажа

При прокладывании проводников между соседними круглыми (а) и планарными (б) контактными площадками, между контактной площадкой и краем ПП (в), между двумя не металлизированными отверстиями (г) возникают так называемые «узкие места», требующие минимальных значений  $t/s$ , соответствующих заданному классу точности. Необходимо также расчет узких мест с учетом технологических возможностей выбранного метода изготовления проводящего рисунка.



Узкие места проводящего рисунка ПП:

а – между соседними круглыми КП;

б – между планарными КП;

в – между КП и краем ПП;

г – между двумя неметаллизированными отверстиями



# Методы производства ПП



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» МГТУ им. Н.Э. Баумана, руководствуясь единой концепцией, созданы методические материалы по дисциплине «Введение в технологию коммутационных структур электронных средств». Методические материалы содержат нормативную базу дисциплины, рекомендации по организации и проведению лекций и лабораторных работ, перечень слайдов, типовых плакатов и другие дидактические материалы для работы профессорско-преподавательского состава по данной дисциплине.

Цель дисциплины – изучение основных принципов и методов проектирования, изготовления и эксплуатации коммутационных структур в электронных устройствах. Материал курса является основой для изучения других технологий, применяемых при создании электронных средств, в том числе в курсах «Конструкторское проектирование электронных средств», «Технологические процессы микроэлектроники», «Технологии синтеза структур», и ряда других выполнения практической части курсового проекта, курсовых работ по технологии производства ЭВС и подготовки магистерской диссертации

Задачи дисциплины – получение теоретических и практических навыков работы с коммутационными структурами электронных средств.

Методологически дисциплина строится на основе наилучшего соотношения теоретических и прикладных вопросов с обязательным участием студентов в самостоятельном исследовании особенностей проведения процессов измерения структур.

Теоретические основы излагаются в такой мере, чтобы показать общие принципы основных методов микроскопии, их особенности, достоинства и недостатки. Содержание соответствующих тем разделов направлено на усиление роли фундаментальных знаний в теоретической и профессиональной подготовке студента, способствовать формированию у студента фундаментальных системных знаний, развивать творческие способности будущего специалиста.

Прикладные вопросы ориентируют студентов на решение задач измерения и сертификации при производстве структур, выбор адекватных методов, алгоритмов, прикладных пакетов и технических средств, обладающих максимальной эффективностью. Поэтому во всех разделах предусмотрены темы, содержание которых связано с формированием и развитием у будущих

специалистов практических навыков решения задач с использованием цифровых инструментальных средств анализа и проектирования.

В основу методических материалов по дисциплине «Введение в технологию коммутационных структур электронных средств» положены курсы, читаемые авторами в МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Материалы учебно-методического комплекса соответствуют стандартам World Skills по компетенции «Производство и инженерные технологии». Разработаны с привлечением и в кооперации с НИИСИ РАН, ИРЭ РАН, РИЦ «Курчатовский институт», ФТИАН РАН, НТЦ УП РАН, ООО "Резонит" и другими представителями академической науки и промышленности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Гриднев В.Н., Гриднева Г.Н.* Проектирование коммутационных структур электронных средств – М. : Издательство МВТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 344 с.
2. *Гриднев В. Н.* Методические указания к домашнему заданию по курсу ТПС и ТП ЭВА / Под ред. О. Д. Парфенова. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1981. – 32 с.
3. *Ивченко В. Г.* Конструирование и технология ЭВМ : конспект лекций. – Таганрог, 2001.
4. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры : учебник для вузов / Под общ. ред. В. А. Шахнова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 568 с.
5. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры : учебник для вузов / К. И. Билибин, А. И. Власов и др.; Под общ. ред. В. А. Шахнова. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 528 с.
6. *Медведев А.* Печатные платы. Конструкции и материалы. – М. : Техносфера, 2005. – 304 с.
7. *Пирогова Е. В.* Проектирование и технология печатных плат : учебник. – М. : Форум, ИНФРА-М, 2005. – 560 с.
8. *Стерлинг Дж. Дж.* Волоконная оптика. Техническое руководство. – М. : Издательство «ЛЮРИ», 2001. – 288 с.
9. Технологии в производстве электроники. Часть I. Справочник по производству печатных плат / Под ред. П. Семенова. – М. : ООО Группа ИТД, 2007. – 586 с.
10. *Туник В. А.* Технология и организация производства радиоэлектронной аппаратуры : учебное пособие. – СПб. : Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004. – 144 с.
11. *Гриднев В.Н., Кондаков Н.А., Трошина Д.П., Фатхутдинов Т.М.* Анализ проектирования многослойных печатных плат // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2018. Т. 2. С. 139-142.
12. *Резчикова Е.В., Соловьев В.А., Долуханян А.М., Жукова А.А.* Морфологический подход к анализу многослойных печатных плат со встроенными компонентами // Технологии инженерных и информационных систем. 2020. № 1. С. 71-82.
13. *Гриднев В.Н., Емельянов Е.И., Власов А.И., Леонидов В.В.* Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUMDESIGNER // Датчики и системы. 2016. № 5 (203). С. 28-36.
14. *Гриднев В.Н., Емельянов Е.И., Власов А.И., Карпунин А.А.* Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUM DESIGNER: Управление проектом // Датчики и системы. 2016. № 6 (204). С. 46-52.



15. *Гриднев В.Н., Григорьев П.В., Емельянов Е.И., Камышина Э.Н.* Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUM DESIGNER: Разработка библиотеки посадочных мест // Датчики и системы. 2016. № 7 (205). С. 33-41.
16. *Арабов Д.И., Гриднев В.Н., Емельянов Е.И., Леонидов В.В.* Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUMDESIGNER: Разработка библиотеки компонентов // Датчики и системы. 2016. № 8-9 (206). С. 42-51.
17. *Власов А.И., Гриднев В.Н., Жалнин В.П., Емельянов Е.И.* Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUMDESIGNER: Схемотехническое проектирование // Датчики и системы. 2016. № 10 (207). С. 37-45.
18. *Власов А.И., Гриднев В.Н., Жалнин В.П., Емельянов Е.И.* Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUMDESIGNER: Топологическое проектирование // Датчики и системы. 2016. №11 (208). С. 28-39.
19. *Власов А.И., Гриднев В.Н., Жалнин В.П., Емельянов Е.И.* Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в среде ALTIUMDESIGNER: Синтез проекта коммутационной структуры // Датчики и системы. 2016. № 12 (209). С. 34-45.
20. *Гриднев В.Н., Миронова Ж.А., Шахнов В.А.* Обеспечение качества компоновки монтажных контактных площадок высокоплотной коммутационной платы // Надежность и качество сложных систем. 2014. № 4 (8). С. 19-25.
21. *Билибин К. И., Гриднев В. Н.* Проектирование маршрутных и операционных технологических процессов в технологии приборостроения. – М. : Издательство МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1987.
22. *Миронова Ж.А., Шахнов В.А., Гриднев В.Н.* Высокоплотная компоновка проводящего рисунка многослойных коммутационных плат // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. 2014. № 6 (99). С. 61-70.
23. *Власов А.И., Гриднев В.Н., Константинов П., Юдин А.В.* Нейросетевые методы дефектоскопии печатных плат // Электронные компоненты. 2004. № 8. С. 148-155.
24. *Гриднев В.Н., Емельянов Е.И.* Монтаж микросхем в корпусах BGA в электронные модули пространственной компоновки // Проектирование и технология электронных средств. 2014. № 3. С. 41-47.
25. *Власов А.И., Гриднев В.Н., Милешин С.А., Козлова А.Ю.* Маршрут технологической подготовки производства печатных плат в среде САМ350 // Технологии инженерных и информационных систем. 2017. № 1. С. 14-45.
26. *Гриднев В.Н., Жалнин В.П., Козлова А.Ю.* Комплексная методика автоматизированного технологического проектирования в среде САМ350 // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2017. № 2 (166). С. 55-66.

27. *Зимин Д.В., Гриднев В.Н.* Обеспечение качества проектирования многослойных печатных плат при конструировании вч-устройств // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2017. Т. 2. С. 183-186.
28. *Преснухин Л.Н., Шахнов В.А.* Конструирование электронных вычислительных машин и систем. —М.: Высшая школа, 1986.
29. *Александров К.К., Кузьмина Е.Г.* Электротехнические чертежи и схемы. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 288 с.
30. *Норенков И. П.* Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. — 430 с.
31. *Глушко А.В., Кузьмина Н.В., Савенков И.И.* Анализ систем автоматизированного проектирования печатных плат // Технологии инженерных и информационных систем. 2020. № 4. С. 64-76.
32. *Сергеева М.Д., Кузьмина С.В., Борисов Г.М.* Анализ систем автоматизированного проектирования печатных плат // Технологии инженерных и информационных систем. 2021. № 1. С. 59-71.
33. *Арабов Д.И., Власов А.И., Гриднев В.Н., Григорьев П.В.* Концепция цифрового инструментального производства (FAB LAB) для прототипирования изделий электронной техники // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 5-3 (47). С. 23-34.
34. *Арабов Д.И., Верясова А.Ю., Гриднев В.Н.* Комплексное макетирование узлов вычислительной техники с использованием инфраструктуры цифрового производства (FAB-LAB) в условиях сквозного обеспечения качества // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. № 1. С. 189-192.
35. *Власов А.И., Завьялов Н.В., Селиванов К.В., Скальченков И.И.* Применение нейронных сетей в обнаружении дефектов печатных плат // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2022. Т. 24. № 6. С. 5-19.
36. *Аверьянихин А.Е., Власов А.И., Евдокимова Е.В.* Иерархическая пирамидальная субдискретизация в глубоких сверточных сетях для распознавания визуальных образов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2021. Т. 23. № 1. С. 17-31.
37. *Верясова А.Ю., Власов А.И., Гладких А.А.* Нейросетевые методы дефектоскопии интегральных структур // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2019. № 2. С. 54-67.
38. *Власов А.И., Гриднев В.Н., Константинов П., Юдин А.В.* Нейросетевые методы дефектоскопии печатных плат // Электронные компоненты. 2004. №8. С. 148-155.
39. *Макушина Н.В., Сергеева М.Д.* Анализ дефектов металлизированных отверстий печатных плат // Проектирование и технология электронных средств. 2018. № 1. С. 3-12.
40. *Макушина Н.В., Сергеева М.Д.* Методика контроля качества металлизированных отверстий печатных плат на микрошлифах // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2018. Т. 2. С. 44-48.

41. *Панфилова С.П., Власов А.И., Гриднев В.Н., Червинский А.С.* Бесконтактный тепловой контроль электронно-вычислительных средств // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре.* 2007. № 6 (72). С. 42-49.
42. *Панфилова С.П., Власов А.И., Гриднев В.Н., Червинский А.С.* Бесконтактный тепловой контроль изделий электронной техники // *Производство электроники.* 2007. № 3. С. 25-30.
42. *Гриднев В.Н., Сергеева М.Д., Чебова А.И.* Линейные модели распознавания тепловизионных изображений неисправностей электронных ячеек // *Контроль. Диагностика.* 2014. № 8. С. 57-66.
43. *Селиванов К.В., Долотов И.И., Домников А.С.* Выбор конструкционных материалов и приемов для эффективного отвода тепла от печатных плат // *Технологии инженерных и информационных систем.* 2023. № 1. С. 3-11.
44. *Аминов Д.А., Захаров Е.Р., Семенякина В.О., Бортник Б.Ю.* Особенности применения технологии обратного высверливания при создании печатных плат // *Технологии инженерных и информационных систем.* 2018. № 4. С. 27-35.
45. *Гордеев Д.В., Зайкин В.А., Селиванов К.В., Цветков А.А.* Анализ материалов для изготовления печатных плат // *Технологии инженерных и информационных систем.* 2020. № 3. С. 26-45.
46. *Назаров А.В., Смирнов К.К., Лягин И.В.* Автоматизация проектирования электрической оснастки для функционального контроля сверхбольших интегральных схем // *Технологии инженерных и информационных систем.* 2023. № 1. С. 64-76.
47. *Макушина Н.В., Долотов И.И., Пылев С.С.* Анализ дефектов паяных соединений // *Технологии инженерных и информационных систем.* 2023. № 2. С. 68-87.
48. Единая система конструкторской документации: Справочное пособие. — М.: Издательство стандартов, 1989.
49. Единая система технологической документации: Справочное пособие. — М.: Издательство стандартов, 1992.
50. Правила оформления конструкторской документации электронной аппаратуры. Методические указания к дипломному проектированию / А.В. Еланцев и др. В 2-х ч. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1994.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ.....</b>	<b>14</b>
1.1. ВВЕДЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЮ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР....	15
1.1.1. Общие сведения о коммутационных структурах.....	15
1.1.2. Геометрия и электрические параметры коммутационных структур	18
1.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР.....	26
1.2.1. Концепция развертывания цифрового инструментального произ- водства в рамках единой цифровой среды.....	26
1.2.2. Концепция интеграции программной среды AltiumDesignerв еди- ную инфраструктуру синхронного производства.....	29
1.2.3. Методика автоматизированного проектирования электронных коммутационных структур в пакете AltiumDesigner.....	31
1.3. КЛАССЫ ТОЧНОСТИ И ПЛОТНОСТИ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА.....	35
1.3.1. Общие понятия о точности и плотности печатного монтажа.....	35
1.3.2. Методика расчета геометрических параметров печатного монтажа с учетом технологических ограничений.....	40
1.4. ТИПЫ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И ИХ КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ.....	50
1.4.1. Типы печатных плат и их конструктивные особенности.....	50
1.5. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ РИСУНКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ.....	60
1.5.1. Анализ способов получения рисунка печатной платы .....	60
1.5.2. Фотографический способ получения рисунка печатной платы.....	62
1.5.3. Сеткографический способ получения рисунка печатной платы.....	63
1.5.4. Способ фотоформирования рисунка печатной платы.....	64
1.5.5. Механический способ получения рисунка печатной платы.....	64
1.6. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОВОДЯЩЕГО РИСУНКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ.....	68
1.6.1. Анализ способов получения проводящего рисунка печатной пла- ты.....	68
1.6.2. Способ химического травления для получения проводящего ри- сунка печатной платы.....	69
1.6.3. Способ химического осаждения для получения проводящего ри- сунка печатной платы.....	69
1.6.4. Электрохимический способ наращивания проводящего рисунка печатной платы.....	70
1.6.5. Термический способ вакуумного напыления для получения про- водящего рисунка печатной платы.....	71
1.7. МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....	73
1.7.1. Общие сведения о методах изготовления печатных плат.....	73
1.7.2. Химический метод изготовления печатных плат.....	76
1.7.3. Комбинированный позитивный метод изготовления печатных плат.....	78
1.7.4. Тентинг - метод изготовления печатных плат.....	81
1.7.5. Электрохимический метод изготовления печатных плат.....	82

1.7.6. Фотоаддитивный метод изготовления печатных плат.....	84
1.7.7. Аддитивное производство печатных плат.....	87
<b>1.8. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....</b>	<b>91</b>
1.8.1. Химическое осаждение меди.....	91
1.8.2. Гальваническое осаждение меди.....	93
1.8.3. Травление меди.....	95
1.8.4. Сверление монтажных отверстий.....	96
<b>1.9. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....</b>	<b>100</b>
1.9.1. Односторонние печатные платы с неметаллизированными отвер- стиями.....	100
1.9.2. Односторонние печатные платы без монтажных отверстий.....	101
1.9.3. Двусторонние печатные платы на диэлектрическом основании.....	101
1.9.4. Двусторонние печатные платы на металлическом основании.....	102
1.9.5. Двусторонние печатные платы без монтажных отверстий.....	102
1.9.6. Гибкие печатные платы.....	107
1.9.7. Гибкие печатные кабели.....	108
1.9.8. Рельефные платы.....	108
<b>1.10. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....</b>	<b>111</b>
1.10.1. МПП попарного прессования.....	111
1.10.2. МПП с металлизацией сквозных отверстий.....	113
1.10.3. МПП послойного наращивания.....	122
<b>1.11. АНАЛИЗ ГИБКО-ЖЕСТКИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....</b>	<b>126</b>
1.11.1. Гибко-жесткие печатные платы (ГЖПП).....	126
<b>1.12. ОБЗОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МАКЕТИРОВАНИЯ И ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....</b>	<b>131</b>
1.12.1. Методы и средства макетирования и прототипирования печат- ных плат.....	131
<b>1.13. ОБЗОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ КОМИНИРОВАННЫМ ПОЗИТИВНЫМ МЕТОДОМ.....</b>	<b>143</b>
1.13.1. Этапы производства печатных плат.....	143
1.13.2. Получение заготовки.....	144
1.13.3. Сверление переходных и монтажных отверстий.....	144
1.13.4. Предварительная металлизация отверстий.....	144
1.13.5. Получение рисунка схемы.....	146
1.13.6. Гальваническое осаждение меди.....	149
1.13.7. Травление меди.....	149
1.13.8. Нанесение паяльной маски.....	150
1.13.9. Горячее лужение.....	152
1.13.10. Оптический контроль качества.....	153
<b>1.14. КОММУТАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ В ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И ПЛАЗМЕННЫХ ПАНЕЛЯХ.....</b>	<b>157</b>
1.14.1. Технологии плоскоэкранных дисплеев.....	157
1.14.2. Низкотемпературная поликремниевая технология.....	160
1.14.3. Плазменные панели.....	161

1.15. ОПТОВОЛОКОННЫЕ КОММУТАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ.....	165
1.15.1. Оптические коммуникации проводящие среды.....	165
1.15.2. Перспективы использования.....	168
1.15.3. Оптическое волокно.....	169
1.15.4. Классификация оптических волокон.....	171
1.15.5. Основные параметры волокон.....	174
1.15.6. Конструкционные особенности оптического кабеля.....	177
1.15.7. Технология изготовления.....	178
1.15.8. Печатные платы с оптоволоконными проводниками.....	179
1.16. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР	183
1.16.1. Общие положения электрического контроля коммутационных структур.....	183
1.16.2. Электрические методы локализации неисправностей.....	185
1.17. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР.....	210
1.17.1. Методы и средства управления качеством коммутационных структур.....	210
1.17.2. Основы дефектоскопии коммутационных структур.....	211
1.17.3. Методы и средства рентгеновского контроля коммутационных структур.....	214
1.17.4. Общие положения оптического контроля коммутационных структур.....	215
1.17.5. Оптические методы анализа паянных соединений.....	216
1.17.6. Анализ дефектов печатных плат по микрошлифам.....	227
1.17.7. Выводы и рекомендации по управлению качеством коммута- ционных структур.....	238
1.18. РАЗРАБОТКА ПАКЕТА ДОКУМЕНТАЦИИ НА КОММУТАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ.....	241
1.18.1. Этапы производства печатных плат.....	241
1.18.2. Получение заготовки.....	
1.18.3. Сверление переходных и монтажных отверстий.....	
1.18.4. Предварительная металлизация отверстий.....	
<b>2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ     ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ</b>	<b>274</b>
2.1. Общие требования по технической безопасности при выполнении ла- бораторных работ	
2.2. Лабораторная работа № 1. Изготовление печатной платы технологией лут	
2.3. Лабораторная работа № 2. Изготовление печатной платы технологией с использованием фотолитографии	
2.4. Лабораторная работа № 3. Исследование геометрических параметров проводящего рисунка коммутационных структур	
2.5. Лабораторная работа № 4. Исследование качества переходных отвер- сий пп	
2.6. Лабораторная работа № 5. Локализация неисправностей компонентов на смонтированных коммутационных структурах	
2.7. Лабораторная работа № 6. Контроль пассивных компонентов: кон- троль резисторов	
2.8. Лабораторная работа № 7. Контроль пассивных компонентов: кон-	

- троль конденсаторов
- 2.9. Лабораторная работа № 8. Контроль пассивных компонентов: контроль индуктивностей
- 2.10. Лабораторная работа № 9. Контроль полупроводниковых компонентов: контроль диодов, светодиодов, стабилитронов
- 2.11. Лабораторная работа № 10. Контроль полупроводниковых компонентов: контроль транзисторов

### **3. Методические указания по выполнению практических работ**

- 3.1. Семинар № 1. Проектирование в пакете altium designer: этап управления проектом
- 3.2. Семинар № 2. Проектирование в пакете altium designer: этап разработка библиотеки компонентов
- 3.3. Семинар № 3. Проектирование в пакете altium designer: этап разработка библиотеки посадочных мест
- 3.4. Семинар № 4. Проектирование в пакете altium designer: этап разработка создания схемы электрической принципиальной
- 3.5. Семинар № 5. Проектирование в пакете altium designer: этап разработка топологическое проектирование
- 3.6. Семинар № 6. Проектирование в пакете altium designer: этап разработка синтез проекта коммутационной структуры
- 3.7. Семинар № 7. Анализ сборочного состава изделий электронной техники
- 3.8. Семинар № 8. Эскизирование коммутационных структур
- 3.9. Семинар № 9. Расчет узких мест проводящего рисунка
- 3.10. Семинар № 10. Метод расчета ширины печатного проводника

### **4. Методические материалы**

- 4.1. Примерная базовая программа дисциплины
- 4.2. Структура и состав фондов оценочных средств по дисциплине
- 4.2.1. Перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий
- 4.2.2. Примеры вариантов экзаменационных билетов
- 4.3. Спецификация учебных видео- и аудиоматериалов, сайдов, эскизов плакатов и других дидактических материалов
- 4.3.1. Спецификация слайдов – конспектов лекций
- 4.3.2. Пример оформления дидактических материалов по лекциям

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **ЛИТЕРАТУРА**

### **ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Классификатор технологических операций машиностроения и приборостроения (№1-85-151. - Москва, Издательство Стандартов. 1987 г. 74 с.).

*Таблица П.1*

Классификационная таблица

Код	Вид технологического процесса по методу выполнения
01	Операции общего назначения
02, 03	Технический контроль
04	Перемещение
06, 07	Испытания
08	Консервация и упаковывание
10	Литье металлов и сплавов
21	Обработка давлением
41, 42	Обработка резаньем
50, 51	Термообработка
55	Фотохимико-физическая обработка
60	Формообразование из полимерных материалов, керамики, стекла и резины
65	Порошковая металлургия
71	Получение покрытий (металлических и немаллических неорганических)
73, 74	Получение покрытий органических (лакокрасочных)
75	Электрофизическая, электрохимическая и радиационная обработка
80, 81	Пайка
85	Электромонтаж
88	Сборка
90, 91	Сварка



Таблица П.2

## Операции общего назначения – код 01

Код	Наименование операции	
0101	Разметка	
0102	Нарезка	
0103	Нагревание	
0104	Раскрой	
0105	Охлаждение	
0106	Выдержка	
0107	Обдувка	
0108	Слесарная	
0109	Зачистка	
0113	Вакуумирование	
0114	Смазывание	
0115	Пломбирование	
0116	Распломбирование	
0117	Герметизация	
0118	Регенерация	
0119	Ориентация	
0120	Галтовка	
0121	Сбор технологических отходов	
0122	Сдача технологических отходов	
0123	Корректировка составов	
0124	Дефектация	
0125	Промывка	
0126	Промывка	водой
0127		растворителями
0128	Термостатирование	
0129	Фильтрование	
0130	Очистка	
0131	Очистка	пескоструйная
0132		гидроструйная
0133		струйно-абразивная
0134		дробеметная
0135		ультразвуковая
0136		дробеструная
0137		газопламенная

0138		электрохимическая	
0139		виброабразивная	
0143		химическая	
0144		ионная, плазменная	
0145	Изолирование, защита		
0146	Изолирование, защита	составами	органическими
0147			неорганическими
0148		лентами, трубками и др.	
0150	Травление		
0151	Травление	химическое	
0152		электрохимическое	
0153		ультразвуковое	
0154		ионное	
0155		плазмохимическое	
0156	Дозирование		
0157	Дозирование	по счету	
0158		по объему	
0159		по массе	
0160	Пропитка		
0161	Пропитка	под давлением	
0162		в вакууме	
0163		при атмосферном давлении	
0164	Заливка, засыпка		
0165	Протирка		
0166	Разгерметизация		
0167	Развакуумирование		
0168	Подготовка (оснастки, оборудования, арматуры, кабеля и т.д.)		
0169	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и др.)		
0170	Сушка		
0171	Сушка	атмосферная	
0172		конвективная	
0173		терморadiационная	
0174		вакуумная	
0175		в электромагнитном поле	
0176		фотохимическая	
0177		световыми лучами	
0178		ультразвуковым, электронным облучением	

0179		в активной, в пассивной среде
0180	Маркирование	
0181	Маркирование	ударом
0182		гравированием
0183		травлением
0184		лазерное
0185		литьем под давлением
0186		лентой, краской, трубкой, биркой, этикеткой и др.
0187		вжиганием
0188		электрохимическое
0189		электроэрозионное
0190		Обезжиривание, обессмоливание
0191	Обезжиривание	химическое
0192		электрохимическое
0193		ультразвуковое
0194		плазмохимическое
0195	Удаление	покрытий
0196		изоляций
0197	Намагничивание	
0198	Размагничивание	

Таблица П.3

Технический контроль – код 02

Код	Наименование операции		
0200	Контроль		
0210	Контроль величин пространства и времени		
0211	Контроль величин пространства и времени	Контроль	
0212			времени
0213			площади
0214			объема
0215			скорости
0216			ускорения
0217			плоского угла
0218			телесного угла
0218			длины
0220		Контроль линейных размеров	
0221	Контроль	между плоскими поверхностями	

0222	Контроль величин пространства и времени		между криволинейными поверхностями
0223			между осями поверхностей
0224			между координатами
0225		Контроль размеров криволинейных поверхностей	
0226		Контроль	кривизны
0227			диаметра
0228			радиуса
0230		Контроль расположения поверхности	
0231		Контроль	параллельности
0232			перпендикулярности
0233			наклона
0235			соосности (концентричности)
0236			симметричности
0237			пересечения осей
0238		позиционного расположения	
0240		Контроль формы поверхности	
0241		Контроль	плоскостности
0242			прямолинейности
0245			цилиндричности
0246			круглости
0247			профиля продольного сечения
0250		Контроль формы и расположения поверхностей	
0251		Контроль	биения
0252	торцевого		
0253	в заданном направлении		
0254	формы	заданного профиля	
0255		заданной поверхности	
0260	Комплексный контроль геометрических параметров		
0261	Комплексный контроль геометрических параметров	Контроль резьбовых деталей	
0262		Контроль	среднего диаметра
0263			приведенного диаметра
0264			шага резьбы
0265		Контроль шлицевых деталей	
0266		Контроль шероховатости	
0270		Контроль зубчатых деталей	
0271		Контроль	кинематической погрешности
0272			радиального биения зубчатого

			венца
0273			накопленной погрешности шага
0274			окружного шага
0275			циклической погрешности
0276			межосевого расстояния на одном зубе
0277			профиля зубьев
0278			колебания длины общей нормали
0281			направления зуба
0282			суммарного пятна контакта
0283			шага зацепления
0284			элементов колеса
0285			толщины зуба
0286			гарантированного бокового зазора
0287			смещения исходного контура
0290		Контроль червячных деталей	
0291		Контроль	винтовой линии червяка
0292			осевого шага червяка
0293			кинематической погрешности червяка
0294			биение витков червяка
0295			элементов колеса
0296			пятна контакта
0297			угла и формы червяка

Таблица П.4

Технический контроль – код 03

Код	Наименование операции	
0310	Контроль механических величин	
0311	Контроль	массы
0312		плотности
0314		момента инерции
0315		силы, веса
0316		давления
0317		вязкости
0318	кинематической	

0320	Контроль электрических и магнитных величин	
0321	Контроль	силы электрического тока
0322		электрического напряжения
0323		электрического сопротивления
0324		электрической емкости
0326		магнитного потока
0327		индуктивности
0328		магнитного сопротивления
0329		динамических электрических величин
0330	Контроль тепловых величин	
0331	Контроль	температуры
0332		теплоемкости
0333		теплого потока
0334		теплопроводности
0335	Контроль акустических величин	
0336	Контроль	звукового давления
0337		объемной скорости
0338		интенсивности звука
0340	Контроль световых величин и величин электромагнитных излучений	
0341	Контроль	силы света
0342		светового потока
0343		освещенности
0344		яркости
0346		энергии излучения
0347		потока излучения
0348		энергетической освещенности
0349		энергетической яркости
0350		Контроль величин физической оптики
0351	Контроль	оптических параметров и характеристик
0354		теплого излучения
0355	Контроль периодических величин	
0356	Контроль	частоты периодического процесса
0357		частоты вращения
0360	Контроль величин ионизирующих излучений	
0361	Контроль	активности нуклида в радиоактивном источнике
0362		поглощенной дозы излучения
0365	Контроль величин физической химии и молекулярной физики	

0366	Контроль	молярной массы	
0367		молярного объема	
0368		химического потенциала	
0369		температуропроводности	
0371		количества вещества	
0372		концентрации	
0375	Контроль качественных характеристик		
0376	Контроль	неразрушающий	акустический (ультразвуковой)
0377			вихревой
0378			магнитный
0379			оптический
0381			радиационный
0382			радиоволновый
0383			тепловой
0384			электрический
0386			проникающими веществами
0387			внешнего вида изделий, наличия клейм
0390	Контроль прочих величин и характеристик		
0391	Контроль	технического состояния	
0392		функционирования	
0393		работоспособности	
0394		надежности	
0396		количества штук	
0397		расхода	

Таблица П.5

Перемещение – код 04

Код	Наименование операции
0400	Перемещение
0401	Транспортирование
0404	Погрузка
0405	Загрузка
0406	Разгрузка
0407	Выгрузка
0408	Перегрузка
0409	Перекладка

0411	Кантование
0412	Штабелирование
0413	Дештабелирование
0414	Стеллажирование
0415	Дестеллажирование
0416	Переливание
0417	Пересыпание
0418	Комплектование
0419	Раскладка
0421	Сортирование
0422	Пакетирование
0423	Распаketирование
0424	Укладывание
0425	Рыхление
0426	Разравнивание
0427	Раскрепление
0428	Закрепление
0429	Накопление
0430	Хранение
0431	Поворотная
0432	Укрывание
0433	Раскрывание
0434	Раскомплектование
0435	Перекачивание
0436	Торцевыравнивание
0440	Складирование

Таблица П.6

## Испытания – код 05

Код	Наименование операции	
0600	Испытания	
0610	Испытания на надежность	
0611	Испытания на	безотказность
0612		сохраняемость
0613		ремонтпригодность
0614		долговечность
0615	Испытания на функциональность	



0620	Испытания механические				
0621	Испытания механические на воздействие	статической нагрузки			
0622		статической нагрузки на	растяжение		
0623			срез		
0624			ползучесть		
0625			кручение		
0626			изгиб		
0627			сжатие		
0628			длительную прочность		
0629			твёрдость, микротвёрдость		
0631			релаксацию		
0632			прокаливаемость		
0633			Испытания механические на воздействие	адгезию	
0634				пластичность	
0635	динамической нагрузки				
0636	динамической нагрузки на	усталость			
0637		усталость при		растяжении-сжатии	
0638				изгибе	
0639				кручении	
0641		ударную вязкость			
0642		механическое старение			
0643		прочность			
0644		адгезию			
0645		трения			
0646	трения при	вращательном движении			
0647		возвратно-поступательном движении			
0650	удара				
0651	удара	механического			
0652		механического		однократного действия	
0653				многократного действия	
0654				при свободном падении	
0655		гидравлического			
0656		аэродинамического			
0657		сейсмического			

0658			баллистического	
0659			ударной (взрывной) волны	
0660		ускорения		
0661		ускорения	линейного	
0662			углового (центробежного)	
0663			центростремительного	
0664			невесомости	
0665		колебаний		
0666		колебаний	качки	
0667			наклона (крена)	
0668			акустического шума	
0669			вибрации	
0670		давления		
0671		давления	гидравлического	повышенного
0672				пониженного
0673		давления	пневманического	повышенного
0674				
0675	Испытания на герметичность			
0676	Испытания на герметичность	пневматические		
0677		гидравлические		
0678	Испытания на отрыв			
0679	Испытания на безопасность			

Таблица П.7

## Испытания – код 07

Код	Наименование операции			
0710	Испытания климатические			
0712	Испытания климатические на воздействие	температуры среды	повышенной	
0713			пониженной	
0714		смены температур (термоциклирования)		
0716		атмосферного давления		повышенного
0717				пониженного
0719		атмосферных осадков		выпадающих
0721				конденсированных
0722		влажности (брызг)		
0723		солнечного излучения		
0724		тумана		

0725		ледово-грунтовой среды			
0726		пыли, песка			
0729		потока воздуха	скоростного	дозвукового	
0731				сверхзвукового	
0732		ветра			
0735	Испытания термические				
0736	Испытания термические на воздействие	теплового удара			
0737		теплового	теплового удара		
0738		удара			
0739		нагрева			
0741		нагрева	аэродинамического		
0742			трением		
0743			тепловым потоком		
0744	пламенем				
0750	Испытания химические				
0751	Испытания химические на воздействие	кислот			
0752		щелочей			
0753		масел, смазок, красок			
0754		специальных сред			
0755	Испытания химические на воздействие	топлива			
0757		среды с коррозионно-активными агентами	атмосферы		
0758			водной		
0759			почвенно-грунтовой		
0760	Испытания биологические				
0761	Испытания биологические на воздействие	позвоночных животных			
0762		беспозвоночных животных			
0763		растений			
0765	Испытания электрические				
0766	Испытания электрические на воздействие	постоянного тока (напряжения)			
0767		переменного тока (напряжения)	однофазного		
0768			многофазного		
0769		электрического импульса тока (напряжения)			
0770	Испытания электротермические				
0771	тания электротермические на воздействие	постоянного тока (напряжения)		при температуре выше °С	
0772				при температуре ниже °С	

0773		переменного тока	однофазного	при температуре выше °С
0774				при температуре ниже °С
0775			многофазного	при температуре выше °С
0776				при температуре ниже °С
0777			электрического импульса тока (напряжения)	при температуре выше °С
0778				при температуре ниже °С
0780	Испытания радиационные			
0782	Испытания радиационные на воздействие	ионизирующего	альфа- и бета-излучения	
0783			гамма-излучения	
0784			рентгеновского излучения	
0785			нейтронного, электронного и протонного излучений	
0786			излучения многозарядных частиц	
0790	Испытания магнитные и электромагнитные			
0791	Испытания магнитные и электромагнитные на воздействие	импульсного электрополя		
0793		магнитного поля	низкочастотного	
0794			высокочастотного	
0795			сверхвысокочастотного	
0796		лазерного излучения		
0797		электромагнитного импульса взрыва		

Таблица П.8

## Консервация и упаковывание – код 08

Код	Наименование операции	
0800	Консервация и упаковывание	
0801	Консервация	
0802	Консервация	окунанием
0803		обливом
0804		смазыванием
0805		прокачиванием
0808		продуванием
0809		распылением

0811		завертыванием		
0812		заливкой		
0813		летучими ингибиторами на носителях		
0814		в процессе испытаний		
0815		герметизацией		
0816		герметизацией	осушением	статическим
0817				динамическим
0818			ингибированным воздухом	
0819			инертными газами	
0821			летучими ингибиторами	
0822		внутренним упаковыванием		
0830	Упаковывание			
0831	Упаковывание	в бумагу		
0832		в полимерную пленку		
0834		герметизированным покрытием		
0836		в потребительскую тару		
0837		в ящик, коробку		
0838		в контейнер		
0839		в мешок		
0841		в связку		
0842		в обрешетку		
0843		на поддон		
0844	Обандероливание			
0845	Обвязывание тары (упаковочной единицы)			
0850	Распаковывание			
0851	Распаковывание	вскрытием		
0852		разборкой		
0853		развязыванием		
0854		развертыванием		
0856		потребительской тары		
0860	Расконсервация			
0865	Расконсервация	удалением консервационного материала		
0866		удалением консервационного материала	протираанием	
0867			окунанием	
0868			оплавлением	
0869			разгерметизацией	
0871			продуванием	
0872			смыванием	

0873			срезанием
0874			сливом
0876			летучих ингибиторов на носителях

Таблица П.9

## Литье металлов и сплавов – код 10

Код	Наименование операции			
1000	Литье металлов и сплавов			
1010	Изготовление литейных моделей			
1011	Изготовление литейных моделей	неметаллических	многократных	
1012			разовых	растворяемых
1013				выплавляемых
1014			выжигаемых	
1016		металлических	многократных	
1020	Изготовление песчаных литейных форм			
1021	Изготовление песчаных литейных форм	ручным уплотнением формовочной смеси	с помощью модели	«по-сырому»
1022				«по-сухому»
1023				химическим отверждением
1024		по шаблону		«по-сырому»
1025				«по-сухому»
1026			химическим отверждением	
1027		машинным уплотнением формовочной смеси	с помощью модели	«по-сырому»
1028				«по-сухому»
1029				химическим отверждением
1040	Изготовление песчаных стержней			
1043	Изготовление песчаных стержней	ручным уплотнением стержневой смеси с последующей сушкой	по стержневому ящику	сушкой
1044				химическим отверждением
1045		по шаблону		химическим отверждением
1046				сушкой
1047		машинным уплотнением	по стержневому	по горячей модельной

		стержневой смеси	ящику	оснастке	
1048				сушкой	
1049				химическим отверждением	
1051	Завалка шихтовых материалов в плавильный агрегат				
1053	Плавка металлов и сплавов				
1060	Заливка формы				
1061	Заливка формы	свободная	в оболочковые формы с применением песчано-смоляных смесей	без вращательного движения	
1062				с вращательным движением	
1063			в керамические формы	без вращательного движения	
1064				с вращательным движением	
1065			в песчаные формы		
1066			в кокиль		
1067		по выплавляемым моделям			
1068		принудительная	под давлением		
1069			с противодавлением		
1071			под низким давлением		
1072			вакуумным всасыванием		
1073		комбинированная	жидкой штамповкой		
1074			выдавливанием		
1075		Удаление стержней, формовочных смесей			
1076	Выбивка отливок, форм				
1077	Обрубка отливки				
1087	Модифицирование				
1088	Рафинирование				
1089	Футеровка				
1090	Исправление дефектов литья				

Таблица П.10

Обработка давлением – код 21

Разделительные	Код	Наименование операции
	2100	Обработка давлением
	2101	Отрезка
	2102	Разрезка

	2103	Обрезка	
	2104	Надрезка	
	2105	Пробивка	
	2106	Проколка	
	2107	Отрубка	
	2108	Разрубка	
	2109	Вырубка	
	2111	Надрубка	
	2112	Ломка	
	2114	Высечка	
	2115	Просечка	
Формоизменяющие	2121	Осадка	
	2122	Высадка	
	2123	Протяжка	
	2124	Разгонка	
	2125	Радиальное обжатие	
	2126	Передача	
	2127	Прошивка	
	2128	Раскатка	
	2129	Гибка	
	2131	Скручивание	
	2132	Закатка	
	2133	Завивка	
	2134	Навивка	
	2135	Вытяжка	
	2136	Вытяжка	С утонением
	2137		Ротационная
	2138	Отбортовка	
	2139	Раздача	
	2141	Обжим	
	2142	Рельефная формовка	
	2143	Чеканка	
	2144	Кернение	
	2145	Выдавливание	
2147	Проглаживание		
2148	Обкатка		
2149	Калибровка		
2152	Волочение		



	2153	Накатка			
	2154	Профилирование			
	2155	Редуцирование			
	2156	Правка			
Формоизменяющие	2157	Обтяжка			
	2158	Поверхностное пластическое деформирование			
	2159	Подкатка			
	2160	Ковка			
	2170	Штамповка			
	2171	Штамповка	объемная		
	2172		вальцовкой		
	2173		листовая		
	2175		импульсная		
	2176		импульсная	взрывная	
	2177			электрогидравлическая	
	2178			электромагнитная	
	2180		эластичными средами		
	2180		эластичными средами	жидкостью	
	2182			резиной	
2183	полиуретаном				

Таблица П.11

Обработка резаньем – код 41

Код	Наименование операции	
4100	Обработка резаньем	
4101	Агрегатная	
4102	Автоматно-линейная	
4105	Резьбонарезная	
4107	Резьбонарезные	Гайконарезная
4108		Болтонарезная
4110	Токарная	
4111	Токарные	Токарно-револьверная
4112		Автоматная токарная
4113		Токарно-карусельная
4114		Токарно-винторезная
4115		Лоботокарная
4116		Токарно-затыловочная

4117		Токарно-копировальная
4118		Специальная токарная
4119		Торцеподрезная-центровальная
4121		Вальцетокарная
4122		Резьботокарная
4123		Токарно-бесцентровальная
4130	Шлифовальная	
4131	Шлифовальные	Круглошлифовальная
4132		Внутришлифовальная
4133		Плоскошлифовальная
4134		Бесцентрово-шлифовальная
4135		Резьбошлифовальная
4136		Координатно-шлифовальная
4137		Обдирочно-шлифовальная
4138		Ленточно-шлифовальная
4139		Шлифовально-затыловочная
4141		Шлицешлифовальная
4142		Заточная
4143		Центрошлифовальная
4144		Карусельно-шлифовальная
4145		Торцешлифовальная
4146		Специальная шлифовальная
4147		Вальцешлифовальная
4150	Зубообрабатывающая	
4151	Зубообрабатывающие	Зубошлифовальная
4152		Зубодолбежная
4153		Зубофрезерная
4154		Зубострогальная
4155		Зубопротяжная
4156		Зубозакругляющая
4157		Зубошевинговальная
4158		Зубопритирочная
4159		Зубоприрабатывающая
4161		Зубообкатывающая
4162		Специальная зубообрабатывающая
4163		Зубохонинговальная
4164		Зуботокарная
4165		Шлицефрезерная

4166		Шлицестрогальная
4167	Комбинированная	
4170	Строгальная	
4171	Строгальные Строгальные	Продольно-строгальная
4172		Поперечно-строгальная
4173		Специальная строгальная
4175	Долбежная	
4180	Протяжная	
4181	Протяжные	Горизонтально-протяжная
4182		Вертикально-протяжная
4183		Специальная протяжная
4190	Отделочная	
4192	Отделочные	Хонинговальная
4193		Суперфинишная
4194		Доводочная
4195		Притирочная
4196		Полировальная
4197		Глянцевочная

Таблица П.12

Обработка резаньем – код 42

Код	Наименование операции	
4210	Сверлильная	
4211	Сверлильные	Сверлильно-центровальная
4212		Радиально-сверлильная
4213		Горизонтально-сверлильная
4214		Вертикально-сверлильная
4216		Координатно-сверлильная
4220	Расточная	
4221	Расточные	Горизонтально-расточная
4222		Вертикально-расточная
4223		Координатно-расточная
4224		Алмазно-расточная
4230	Программная	
4231	Программные	Расточная с ЧПУ
4232		Сверлильная с ЧПУ
4233		Токарная с ЧПУ

4234		Фрезерная с ЧПУ
4236		Шлифовальная с ЧПУ
4237		Комплексная на обрабатывающих центрах с ЧПУ
4260	Фрезерная	
4261	Фрезерные	Вертикально-фрезерная
4262		Горизонтально-фрезерная
4263		Продольно-фрезерная
4264		Карусельно-фрезерная
4265		Барабанно-фрезерная
4267		Копировально-фрезерная
4268		Гравировально-фрезерная
4269		Фрезерно-центровальная
4271		Шпоночно-фрезерная
4272		Специальная фрезерная
4273		Универсально-фрезерная
4274		Резьбофрезерная
4280		Отрезная
4281	Отрезные	Ножовочно-отрезная
4282		Ленточно (проволочно)-отрезная
4283		Алмазно-отрезная
4284		Токарно-отрезная
4285		Пило-отрезная
4286		Фрезерно-отрезная
4287		Абразивно-отрезная

Таблица П.13

## Термическая обработка – код 50

Собственно термическая обработка	Код	Наименование операции					
	5000	Термическая обработка					
	5010	Отжиг					
	5011	Отжиг	без фазовых превращений	гомогенизационный			
	5012			увеличивающий зерно			
	5014			графитизирующий			
	5015			релаксационный (уменьшающий напряжение)			
	5016			промежуточный на возврат			
	5017			рекристаллизационный	полный		
	5018				неполный		
	5019			дорекристаллизационный	упрочняющий		
	5021				смягчающий	на отдых	
	5022					на возврат	
	5023				с фазовыми превращениями	полный	гетерогенизирующий
	5024			гомогенизирующий			
	5025	изотермический					
	5026	неполный	гетерогенизирующий				
	5027		гомогенизирующий				
	5028	сфероидизирующий					
	5029	нормализационный					
	5030	Закалка					
	5031	Закалка	общая	непрерывная	в одной среде		
	5032				возврат после старения		
	5033			прерывистая	прерывистая	в двух средах	
	5034					многократная	
	5035					с обработкой холодом	
	5036					программированная	
	5037					ступенчатая	
	5038					изотермическая	
5039	изотермическая с подстуживанием						
5041	от субкритических температур						
5042	местная					объемная	поверхностная
5043							
5044							

Собственно термическая обработка	5045	Термоциклическая обработка (ТЦО)		
	5050	Отпуск		
	5051	Отпуск	высокий	
	5052		средний	
	5053		низкий	
	5054		упрочняющий	
	5056		смягчающий	
	5057		ступенчатый	
	5060	Старение		
	5061	Старение	естественное (без нагрева)	
	5062		искусственное (упрочняющее)	полное
	5063			неполное
	5064			без предварительной заковки
	5066		смягчающее (перестраивание)	
5067	ступенчатое			
5068	стабилизирующее			

Таблица П.14

## Термическая обработка – код 51

Химико-термическая обработка	Код	Наименование операции	
	5110	Диффузионное насыщение металлами	
5111	Диффузионное насыщение металлами	простое (одноэлементное, одностадийное)	
5112		комплексное (двухкомпонентное, двухстадийное)	
5113		комплексное сложное	
5120	Диффузионное насыщение неметаллами		
5121	Диффузионное насыщение неметаллами	простое (одноэлементное, одностадийное)	
5122		комплексное (двухкомпонентное, двухстадийное)	
5123		комплексное сложное	
5130	Диффузионное совместное насыщение металлами и неметаллами		
5135	Диффузионное удаление примесей		
5136	Диффузионное удаление примесей	простое	
5137		комплексное	
5140	Термо-механическая обработка (ТМО)		

5541	Термо- механическая обработка	предварительная (ПТМО)
5142		высокотемпературная (ВТМО)
5143		низкотемпературная (НТМО)
5144		высокотемпературная изотермическая (ВТМИзо)
5546		низкотемпературная изотермическая (НТМИзо)
5147		высоко—низкотемпературная (ВНТМО)
5148		предварительная поверхностная (ПТМПО)
5149		высокотемпературная поверхностная (ВТМПО)
5151		контролируемая прокатка
5152		изоформинг
5153		термоэлектрохимическая
5154		деформационное старение
5156		электротермомеханическая
5157		термомагнитная
5161		Вжигание
5162	Осаждение пленки	
5163	Ионная имплантация	
5164	Наращивание	эпитаксиального слоя
5166		поликремния
5167	Сплавление	
5168	Обжиг	

Таблица П.15

## Фотохимико-физическая обработка – код 55

Код	Наименование операции		
5500	Фотохимико-физическая обработка		
5510	Изготовление оригинала		
5511	Изготовление оригинала	пересчетом таблицы координат	
5512		вырезанием	
5513		вырезанием	на автоматическом координатографе
5514			на координатографе в режиме ручного ввода информации
5515		фотонабором	
5516		аппликацией	
5517		комбинированным способом	
5520		Изготовление фотошаблонов	
5521	Изготовление фотошаблонов	Съемка репродукционной камерой	
5522		Обработка фотоматериалов	
5523		Фотопечать	
5524		Ретуширование	
5525		Мультиплицирование	
5526		Изготовление промежуточного фотошаблона	
5527		Изготовление копий промежуточного фотошаблона	
5528		Изготовление эталонного фотошаблона	
5529		Изготовление рабочего фотошаблона	
5540	Фотолитография		
5541	Фотолитография	Экспонирование	
5542		Экспонирование	контактное
5543			бесконтактное (проекционное)
5544			совмещенное
5545		Проявление	
5546		Задубливание (полимеризация), фиксирование	
5547		Сенсибилизация	



Таблица П.16

Формообразование из полимерных материалов, керамики, стекла и резины – код 60

Код	Наименование операции		
6000	Формообразование из полимерных материалов, керамики, стекла и резины		
6009	Смешивание		
6011	Окрашивание		
6012	Дробление		
6013	Гранулирование		
6014	Таблетирование		
6015	Жгутирование		
6016	Шприцевание		
6017	Набор пакета		
6020	Прессование		
6021	Прессование	прямое	
6022		литьевое	
6023		с декорированием	
6030	Литье		
6031	Литье	под давлением	термопластов
6032			реактопластов
6033		под давлением со вспениванием	физическим
6034			химическим
6036		многокомпонентное	
6037		центробежное	
6040	Вспенивание		
6041	Вспенивание	прессовое	
6042		беспрессовое	
6050	Экструзия		
6051	Экструзия	заготовок	
6052		с непрерывным калиброванием	
6053		с непрерывным раздувом	
6056	Созэкструзия		
6057	Интрузия		
6060	Формование		
6061	Формование	герметичной эластичной упаковкой	
6063		пуансоном и матрицей	

6063	Формование	на оправке	
6064		контактное	
6065		протяжным кольцом	
6066		термовакuumное	
6007		термопневматическое	
6068		комбинированное	
6069		экструзионно-раздувное	
6073	Армирование		
6074	Термоштампование		
6076	Дублирование		
6077	Ламинирование		
6078	Каландрирование		
6079	Вальцевание		
6081	Тиснение		
6082	Спекание		
6083	Растяжение		
6084	Стерилизация		
6085	Вулканизация		
6086	Вулканизация	горячая	в прессах
6087			в автоклав-прессах
6088			на открытом воздухе
6089		холодная	радиационная
6090	Гуммирование		
6091	Гуммирование	горячее	
6092		холодное	
6093	Желатинирование		
6094	Прорезинивание		
6095	Девулканизация		
6096	Девулканизация	в прессах	
6097		радиационная	
6098	Пластикация каучука		
6099	Выдувание		

Таблица П.17

## Порошковая металлургия – код 65

Код	Наименование операции			
6500	Порошковая металлургия			
6530	Формование порошков			
6531	Формование с приложением статического давления	без нагрева	прессованием	без оболочки
6532				в оболочке
6533			прокаткой	без оболочки
6534				в оболочке
6535			протяжкой	без оболочки
6536				в оболочке
6537		выдавливанием	без оболочки	
6539		с нагревом	прессованием	в оболочке
6541				прокаткой
6542			в оболочке	
6544	выдавливанием		в оболочке	
6545	Формование с приложением динамического давления	без нагрева	прессованием	без оболочки
6546				в оболочке
6548		с нагревом	прессованием	в оболочке
6551			выдавливанием	в оболочке
6552			ковкой	в оболочке
6553	Формование с приложением циклического давления	без нагрева	прессованием	без оболочки
6554		с нагревом	прессованием	без оболочки
6555	Формование без нагрева под воздействием вибрации			
6556	Формование без нагрева и приложения давления	пластифицированных масс		
6557		свободно насыпного порошка		
6558		шликера		
6560	Уплотнение порошковых формовок			
6561	Уплотнение с приложением статического давления	без нагрева	прессованием	без оболочки
6562				в оболочке
6563			прокаткой	без оболочки
6564				в оболочке
6565			выдавливанием	без оболочки
6566				в оболочке

6567			прессованием	без оболочки
6568		с нагревом	прокаткой	в оболочке
6569			выдавливанием	в оболочке
6571				
6572	Уплотнение с приложением динамического давления	без нагрева	прессованием	без оболочки
6573				в оболочке
6574		с нагревом	прессованием	без оболочки
6575				в оболочке
6576			выдавливанием	в оболочке
6577		ковкой	в оболочке	
6578	Уплотнение с приложением циклического давления	с нагревом	прессованием	без оболочки
6580	Спекание порошковых формовок			
6581	Спекание при низком давлении (в вакууме) защитной (газовой) среды	неактивированное		
6582		активированное	с введением активирующих факторов в порошковую формовку	
6583			с приложением к порошковой формовке давления	статического
6584				циклического
6585			с циклическим изменением температуры	
6586		с инфильтрацией		
6587	Спекание при нормальном давлении защитной (газовой, сыпучей, жидкой) среды	неактивированное		
6588		активированное	с введением активирующих факторов	в защитную среду
6589				в порошковую формовку
6591			с приложением к порошковой формовке давления	статического
6592				циклического
6593		с циклическим изменением температуры		
6594	с инфильтрацией			

6595	Спекание при высоком давлении защитной (газовой, сыпучей, жидкой) среды	неактивированное		
6596		активированное	с введением активирующих факторов	в защитную среду
6597				в порошковую формовку
6598			с циклическим изменением температуры	

Таблица П.18

Получение покрытий (металлических и неметаллических неорганических) – код 71

Код	Наименование операции		
7100	Получение покрытия		
7101	Крацевание		
7102	Сатинирование	химическое	
7103		электрохимическое	
7104	Эмалирование, глазурование		
7105	Тонирование	химическое	
7106		электрохимическое	
7107	Матирование		
7108	Осветление		
7109	Хроматирование		
7110	Металлизация		
7111	Металлизация	Газотермическая	пламенная
7112			электродуговая
7113			плазменная
7114			детонационная
7115			высокочастотная
7116		Конденсационные (вакуумная)	катодная
7117			термическая
7118			ионная
7119	Нейтрализация		
7121	Золочение	химическое	
7122		электрохимическое	
7123	Амальгамирование		
7124	Восстановление катодное		
7125	Плакирование		

7126	Активация	химическая
7127		электрохимическая
7128	Наполнение покрытия	в воде
7129		в растворителе красителя
7131	Гидрофобизирование покрытия	
7132	Оплавление покрытия	
7133	алюминирование	металлизационное
7134		электрохимическое
7135	Пассивирование	
7136	Фосфатирование	химическое
7137		электрохимическое
7139	Флюсование	
7141	Окисление	химическое
7142		электрохимическое
7143		термическое
7144	Эматалирование	
7145	Железнение	электрохимическое
7146		металлизационное
7147	Индривание	
7148	Кадмирование	электрохимическое
7149		металлизационное
7151	Оловянирование	металлизационное
7152		химическое
7153		электрохимическое
7154		горячее
7155	Меднение	химическое
7156		электрохимическое
7157		металлизационное
7158	Родирование	
7159	Палладирование	химическое
7161		электрохимическое
7162	Платинирование	
7163	Никелирование	химическое
7164		электрохимическое
7165	Свинцевание	химическое
7166		электрохимическое
7167		горячее
7168		металлизационное

7169	Серебрение	химическое
7171		электрохимическое
7172	Хромирование	
7173	Цинкование	химическое
7174		электрохимическое
7175		горячее
7176		металлизационное
7180	Получение покрытия сплавами	

Таблица П.19

Получение покрытий органических (лакокрасочных) – код 73

Код	Наименование операции		
7300	Получение покрытий органических (лакокрасочных)		
7301	Преобразование	распылением	
7302	ржавчины	кистью, тампоном	
7303	Порозаполнение древесины		
7304	Крашение древесины		
7310	Грунтование		
7311	распылени- ем	пневматическим	
7312		безвоздушным	
7313		электростатическим	
7314		пневмоэлектростатическим	
7315		безвоздушным электростатиче- ским	
7325		аэрозольным	
7326		центробежным	
7327		ультразвуковым	
7328		Грунтование	окунанием
7329	с выдержкой в парах раствори- теля		
7331	электрооса- ждением	анодным	
7332		катодным	
7333	наливом, обливом		
7334	струйным обливом		без выдержки в парах раствори- теля
7335			с выдержкой в парах раствори- теля

7336		в барабанах, центрифугах	
7337		кистью, валиком, тампоном и др.	
7338		валками	
7339		автоосаждением	
7340	Подгрунтовывание		
7341	Подгрунто- вывание	кистью, валиком, тампоном и др.	
7342		распылением	
7350	Шпатлевание		
7351	Шпатлевание	местное	
7352		сплошное	
7355	Получение выявительного слоя		
7360	Окрашивание		
7361		распылением	пневматическим
7362			безвоздушным
7363			электростатическим
7364			пневмоэлектростатическим
7365			безвоздушным электростати- ческим
7366			аэрозольным
7367			
7368	ультразвуковым		
7369	Окрашивание	окунанием	без выдержки в парах раство- рителя
7371			с выдержкой в парах раство- рителя
7372		электрооса- ждением	анодным
7373			катодным
7374	автоосаждением		
7375	обливом, наливом		
7376	валками		
7377	в барабанах, центрифугах		
7378	кистью, валиком, тампоном, иглой и др.		
7379		струйным об- ливом	без выдержки в парах раство- рителя
7381			с выдержкой в парах раство- рителя
7382	в псевдооживленном слое		
7385	Подкрашивание		



7386	Подкрашивание	кистью, валиком, тампоном, иглой и др.
7387		распылением

Таблица П.20

Получение покрытий органических (лакокрасочных) – код 74

Код	Наименование операции	
7410	Лакирование	
7411	распылением	пневматическим
7412		безвоздушным
7413		электростатическим
7414		пневмоэлектростатическим
7415		без воздушным электростатическим
7416		аэрозольным
7417		центробежным
7418		ультразвуковым
7419	окунанием	без выдержки в парах растворителя
7421		с выдержкой в парах растворителя
7422	электроосаждением	катодным
7423		анодным
7424	наливом, обливом	
7425	валками	
7426	в барабанах, центрифугах	
7427	кистью, валиком, тампоном и др.	
7428	автоосаждением	
7429	струйным	без выдержки в парах растворителя
7431	обливом	с выдержкой в парах растворителя
7432	в псевдооживленном слое	
7433	Разравнивание	
7439	Заглубление	
7440	Напыление	
7441	Напыление	в псевдооживленном слое
7442		электростатическое
7443		струйное
7444		газопламенное
7445		плазменное
7446		вакуумное
7447	Насыпание	

7450	Нанесение рисунка и надписей (в том числе имитация текстуры древесины, кожи, камня, ткани)	
7451	Нанесение рисунка и надписей	декалькоманией
7452		синтетическими материалами
7453		печатанием
7454		аэрографией
7456		шелкографией
7457		по трафарету
7458	Облицовывание	

Таблица П.21

Электрофизическая, электрохимическая и радиационная обработка – код 75

Код	Наименование операции				
7500	Электрофизическая, электрохимическая и радиационная обработка				
7501	Копировально-прошивочная	электрофизическая	электроэрозионная		
7502			электрохимическая	электромеханическая	ультразвуковая
7503		электрохимическая			
7504	Прошивочная	комбинированная	электроэрозионно-химическая		
7505		электрофизическая	лучевая	лазерная	
7506				электроннолучевая	
7507			электромеханическая	ультразвуковая	
7509	Профильно-вырезная	электрофизическая	электроэрозионная	электроискровая	проволочным электродом
7511					дисковым электродом
7512		лучевая	лазерная		
7513			электроннолучевая		
7514		электромеханическая	ультразвуковая		
7515		электрохимическая			
7516		комбинированная	электроэрозионно-химическая		

7519	Отрезная	электрофизическая	электроэрозионная	электроискровая	проволочным электродом	
7521					дисковым электродом	
7523			лучевая	лазерная		
7524			электро-механическая	ультразвуковая		
7525			плазменная			
7526	Заточная	электрохимическая	размерная	анодно-механическая	дисковым электродом	
7527					ленточным электродом	
7529	Заточная	электрохимическая	размерная	анодно-механическая	абразивная	
7531					алмазная	
7535	Расточная	электрофизическая	электроэрозионная			
7536			электро-механическая	ультразвуковая		
7541	Плоскошлифовальная	электрофизическая	электроэрозионная			
7542		электрохимическая	размерная	анодно-механическая	абразивная	
7543					алмазная	
7545	Круглошлифовальная	электрохимическая	размерная	анодно-механическая	абразивная	
7546					алмазная	
7548		электрофизическая	электроэрозионная			
7555	Гравировальная	электрохимическая				
7556		электрофизическая	электроэрозионная			
7557			электро-механическая	ультразвуковая		
7558		комбинированная	электрофотохимическая			

7561	Отделоч- но- зачистная	электрохимическая		
7562		электрофи- зическая	электроме- ханическая	ультразвуковая
7565	Доводоч- ная	электрохимическая		
7566		электрофи- зическая	электроме- ханическая	ультразвуковая
7571	Упрочня- юще-леги- рующая	электрофи- зическая	электроэрозионная	
7572			лучевая	лазерная
7573				электроннолучевая
7576	Резьбона- резная	электрофи- зическая	электроэрозионная	
7577			электроме- ханическая	ультразвуковая
7578	Обработка	ионизирующим излучением		
7579		терморadiационная		
7581		радиационная		

Таблица П.22

## Пайка – код 80

Код	Наименование операции			
8000	Пайка			
8006	Ограничение растекания припоя			
8010	Пайка готовым припоем			
8011	Пайка готовым припоем	флюсовая	тепловым контактам (паяльником, нагретым газом, нагревательными матами)	
8012			газопламенная	
8013			индукционная	
8014			в печи	
8015			электросопротивлением	
8016			дуговая	
8017			экзотермическая	
8018			волной припоя	
8019			погружением	в расплавленный припой
8021				в расплавленную соль
8022			плазменная	
8035			в нейтральной газовой среде	в печи
8036		индукционная		
8037	радиационная (световыми лучами, инфракрасными лучами, лазерная)			

8038		в активной газовой среде	в печи
8039			индукционная
8041			радиационная (световыми лучами, инфракрасными лучами, лазерная)
8042		в вакууме	в печи
8043			индукционная
8044			радиационная (световыми лучами, инфракрасными лучами, лазерная)
8045			электроннолучевая
8046			тлеющим разрядом
8050	Контактно-реактивная пайка		
8051	Контактно-реактивная пайка	в нейтральной газовой среде	в печи
8052			индукционная
8053			радиационная (световыми лучами, инфракрасными лучами, лазерная)
8054		в активной газовой среде	в печи
8055			индукционная
8056			радиационная (световыми лучами, инфракрасными лучами, лазерная)
8057		в вакууме	в печи
8058			индукционная
8059			радиационная (световыми лучами, инфракрасными лучами, лазерная)
8061			электроннолучевая
8062			тлеющим разрядом
8070		Реактивно-флюсовая пайка	
8071	Реактивно-флюсовая пайка		в печи
8072			газопламенная
8073			погружением в расплавленный флюс
8074			экзотермическая
8077	Электролитная пайка		

Таблица П.23

Пайка – код 81

Код	Наименование операции		
8100	Пайкосварка		
8111	Пайкосварка	флюсовая	газопламенная
8112			дуговая

8120	Сваркопайка				
8121	Сварко- пайка	флюсовая	газопламенная		
8122			дуговая		
8123		в нейтральной газовой среде	дуговая		
8130	Комбинированная пайка				
8131	Комбинированная пайка	диффузионная контактно-реактивная в печи	в газовой среде	в нейтральной	
8135				в активной	
8133		в вакууме			
8134		диффузионная готовым припоем в печи	в нейтральной в активной	в нейтральной	
8135				в активной	
8136		в вакууме			
8141		диффузионная контактно-реактивная электронно-лучевая	в вакууме		
8142		диффузионная готовым припоем электронно-лучевая	в вакууме		
8160	Лужение				
8161	Лужение	абразивное	паяльником		
8162			газопламенное		
8163		абразивно-кристаллическое	паяльником		
8164			газопламенное		
8165		абразивно-кавитационное	погружением в расплавленный припой		
8167		ультразвуковое	паяльником		
8168			погружением в расплавленный припой		
8171		флюсовое	паяльником		
8172			газопламенное		
8173			в печи		
8174			погружением в расплавленный припой		

Таблица П. 24

Электромонтаж– код 85

Код	Наименование операции	
8500	Электромонтаж	
8501	Регулировка, настройка, юстировка	
8502	Бахромирование	
8504	Разделка провода, кабеля, жилы	
8505	Раскладка провода, кабеля	
8508	Бандажирование	
8509	Плетение	
8511	Свивание, скручивание	
8512	Мерная резка	
8521	Протягивание провода, кабеля, жгута	
8522	Размотка провода, кабеля	
8531	Формовка выводов электрорадиоэлементов	
8535	Намотка, перемотка	
8536	Намотка, перемотка	каркасная
8537		бескаркасная
8551	Вощение шпагата	
8552	Экранирование	

Таблица П.25

Сборка – код 88

Код	Наименование операции	
8800	Сборка	
8801	Базирование	
8803	Балансировка	
8821	Стопорение	
8822	Штифтование	
8823	Запрессовывание	
8824	Контровка	
8831	Свинчивание	
8832	Застегивание	
8841	Клепка	
8842	Развальцовка	
8843	Фальцевание	
8844	Накручивание	
8846	Склеивание	
8847	Сшивание	

8848	Сколачивание	
8849	Центрирование	
8851	Шплинтование	
8852	Распрессовывание	
8853	Расштифтовывание	
8854	Расшплинтовывание	
8856	Развинчивание	
8857	Расстегивание	
8858	Монтаж	
8859	Демонтаж	
8861	Разборка	
8862	Сборочно-подготовительная	
8863	Сборочно-монтажная	
8864	Слесарно-сборочная	
8866	Приклеивание	
8867	Отклеивание	
8870	Сборка и монтаж изделий электронной техники (ИЭТ)	
8871	Сборка и монтаж ИЭТ	сборка корпуса
8872		сборка блока арматуры
8873		монтаж ножки собранной
8874		монтаж блока арматуры на ножку
8876		монтаж блока арматуры (кристалла) на ножку
8877		монтаж кристалла в корпус
8878		монтаж комплектующих изделий
8879		загрузка кассет комплектующими изделиями
8881		присоединение выводов
8882		распайка в «тару-спутник»

Таблица П.26

## Сварка – код 90

Код	Наименование операции
9000	Сварка
9001	Индукционно-прессовая сварка
9002	Газопрессовая сварка
9003	Термокомпрессионная сварка
9004	Дугопрессовая сварка
9005	Шлакопрессовая сварка
9006	Термитно-прессовая сварка



9007	Печная сварка			
9010	Контактная сварка			
9011	Контактная сварка	точечная		
9012		шовная		
9013		стыковая		
9014		рельефная		
9015		шовно стыковая		
9020	Диффузионная сварка			
9021	Диффузионная сварка	в инертных газах		
9022		в активных газах		
9023		в вакууме		
9025	Световая сварка			
9026	Световая сварка	лазерная		
9027		энергией лучей оптического диапазона		
9028		инфракрасным излучением		
9030	Дуговая сварка			
9031	Дуговая сварка	покрытым электродом		
9032		пучком покрытых электродов		
9033		самозащитной проволокой		
9034		порошковой проволокой		
9035		под флюсом		
9036		по флюсу	плавящимся электродом	
9037			неплавящимся электродом	с присадочным металлом
9038				без присадочного металла
9039		в инертных газах	плавящимся электродом	
9041			неплавящимся электродом	с присадочным металлом
9042	без присадочного металла			
9043	в углекислом газе	сплошной проволокой		
9044		порошковой проволокой		
9045		неплавящимся электродом	с присадочным металлом	
9046			без присадочного металла	
9047	Дуговая сварка	в азоте	плавящимся электродом	

9048			неплавящимся электродом	с присадочным металлом
9049				без присадочного металла
9051		в смеси инертных и активных газов плавящимся электродом		
9052		в концентрических потоках инертного и активного газов	плавящимся электродом	
9053			неплавящимся электродом	с присадочным металлом
9054				без присадочного металла
9055		в водяном паре		
9056			плавящимся электродом	
9057		в азоте	неплавящимся электродом	с присадочным металлом
9058				без присадочного металла
9061	Электрошлаковая сварка			
9062	Электронно-лучевая сварка			
9063	Плазменная сварка			
9064	Ионно-лучевая сварка			
9065	Сварка тлеющим разрядом			
9066	Термоимпульсная сварка			
9067	Индукционная сварка			
9068	Газовая сварка			
9069	Термитная сварка			
9071	Литейная сварка			
9072	Сварка взрывом			
9073	Сварка трением			
9074	Магнито-импульсная сварка			
9075	Сварка газовым теплоносителем			
9076	Сварка экструдированной присадкой			
9080	Ультразвуковая сварка			
9081	Ультразвуковая сварка	точечная		
9082		шовная		
9083		стыковая		
9090	Холодная сварка			

9091	Холодная сварка	точечная
9092		шовная
9093		стыковая

Таблица П.27

Сварка – код 91

Код	Наименование операции			
9110	Наплавка			
9111	Наплавка	дуговая	покрытым электродом	
9112			пучком покрытых электродов	
9113			самозащитной проволокой	
9114			порошковой проволокой	
9115			под флюсом	
9116			по флюсу	
9117			в инертных газах	плавящимся электродом
9118				неплавящимся электродом
9119			в углекислом газе	сплошной проволокой
9121				порошковой проволокой
9122			в азоте	неплавящимся электродом
9123				плавящимся электродом
9124				неплавящимся электродом
9125			вибродуговая	
9126	индукционная			
9127	электрошлаковая			
9128	плазменная			
9129	трением			
9131	с помощью контактной сварки			
9132	газопламенная			
9133	с использованием жидкого присадочного металла			
9170	Термическая резка			
9171	Термическая резка	лазерная		
9172		кислородная		
9173		кислородно-флюсовая		
9174		дуговая		
9175		воздушно-дуговая		
9176		плазменно-дуговая		
9177		кислородно-лазерная		
9180	Термоконтактная сварка			

9181	Термо- контакт- ная свар- ка	оплавлением		
9182		проплавлением		
9183		нагретым инстру- ментом	ленточным теплоносителем	
9184			роликом	
9185			полозом	
9186		внахлестку		
9187		встык		

Учебно-методический комплекс  
по укрупненным группам специальностей и направлений  
«Информатика и вычислительная техника» и «Приборостроение»

**Гриднев Владимир Николаевич**  
**Гриднева Галина Николаевна**  
**Селиванов Кирилл Владимирович**  
**Жалнин Владимир Петрович**  
**Козырев Александр Николаевич**

## **ВВЕДЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЮ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР ЭС**

Редактор: Л.Т.Мартыненко  
Художник: Я.М. Асинкритова  
Корректор: Ю.Н.Морозова  
Компьютерная графика: О.В.Левашвой  
Дизайн обложки: Е.В.Жуковой

Оригинал-макет подготовлен  
в Издательстве МГТУ им. Н. Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты  
Студии Артемия Лебедева

Подписано в печать 14.09.2023. Формат 70×100/16. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. XX. Тираж 100 экз.

Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана  
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5.  
E-mail: [info@bmstu.press](mailto:info@bmstu.press)  
<http://bmstu.press>

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н. Э. Баумана  
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5.  
[baumanprint@gmail.com](mailto:baumanprint@gmail.com)