



Министерство образования и науки российской федерации
Владивостокский государственный университет экономики и сервиса
Институт информатики, инноваций и бизнес систем
Кафедра электроники



«Основы проектирования и организации производства радиоэлектронной техники»

Лекция «ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ»

Ведущий преподаватель: Белоус И.А.

Владивосток, 2014



СОДЕРЖАНИЕ

- 1. Организация производства радиоэлектронной аппаратуры:** современное предприятие. Производственный процесс. Принципы организации производственных процессов. Производственный цикл изготовления изделий. Производственная структура предприятия. Формы специализации цехов.
- 2. Основные понятия технологии производства аппаратуры:** технологические особенности радиоэлектронной аппаратуры. Основные понятия. Типы производства. Технологические процессы в производстве РЭА. Виды технологических процессов.
- 3. Организация технологической подготовки производства:** основные задачи планирования технологической подготовки. Этапы разработки технологических процессов. Средства технологического оснащения производства РЭА.



ЛИТЕРАТУРА

- Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.
- Технология приборостроения: Учебник / Под общей редакцией проф. И.П.Бушминского. – М.: МГТУ им. Н. Э.Баумана.
- Тупик В.А. Технология и организация производства радиоэлектронной аппаратуры. – СПб: Издательство: СПбГЭТУ "ЛЭТИ" – 2004.



1. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Современное предприятие – это система управления производством, основанная на использовании экономико-математических методов, теории информации, системно - комплексного подхода, организационной и электронно-вычислительной техники.

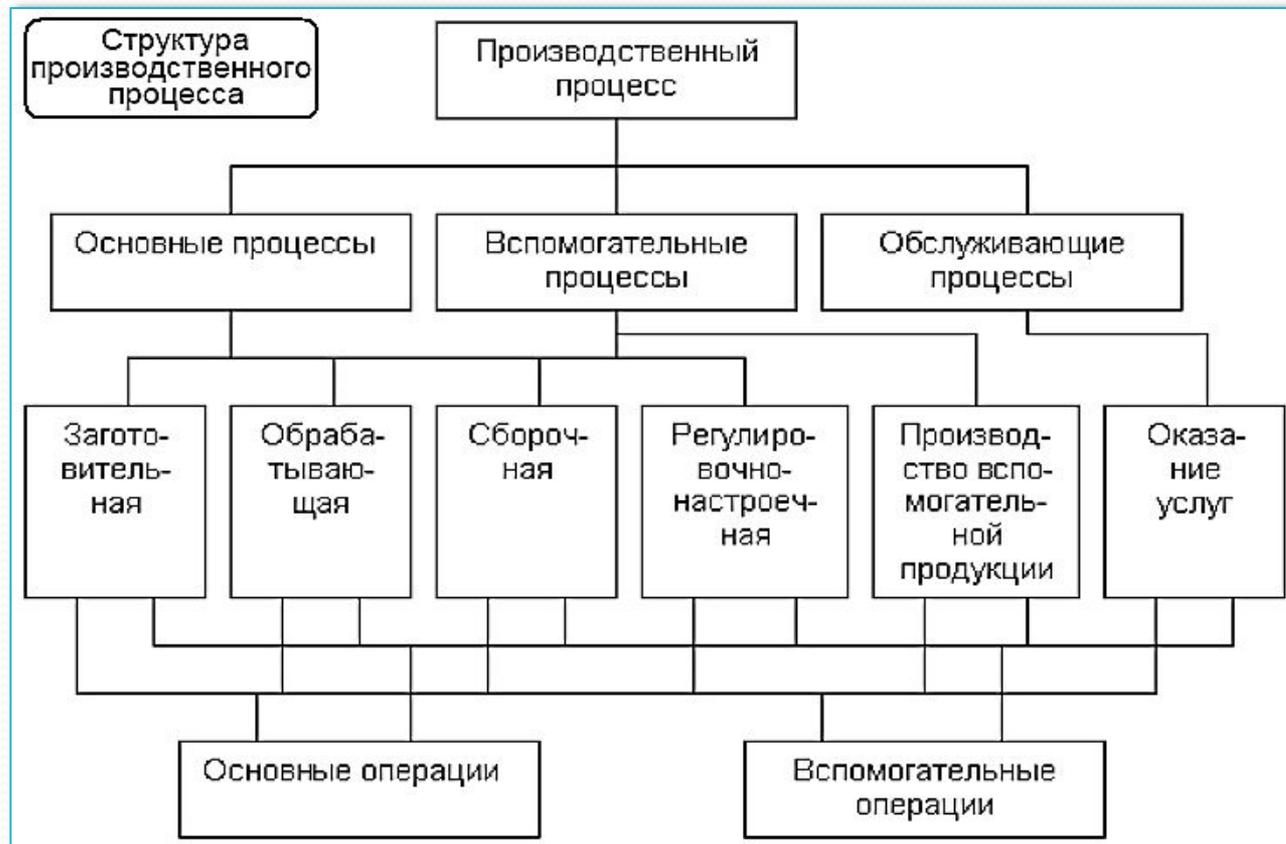
- С производственно-хозяйственной точки зрения предприятие есть относительно обособленное образование, в котором предполагаются социальное, производственно-техническое, организационно-административное единство и финансово-экономическая самостоятельность.



- **Социальное единство** предполагает формирование коллектива работников, состоящего из различных групп всех специальностей, необходимых для производства определенной продукции.
- **Производственно-техническое единство** предусматривает соответствие основных фондов предприятия (оборудования и площадей) характеру определенной деятельности.
- **Организационно-административное единство** предполагает наличие единого управленческого аппарата и наличия единой для предприятия системы документооборота.



- **Производственный процесс** представляет собой совокупность взаимосвязанных основных, вспомогательных и обслуживающих процессов в целях создания определенной продукции (рис.1.1).





- **Основные производственные процессы** – это процессы, в ходе которых происходит непосредственное изменение форм, размеров, свойств, внутренней структуры предметов труда и превращение их в готовую продукцию.
- К **вспомогательным производственным процессам** относятся такие процессы, результаты которых используются либо непосредственно в основных процессах, либо обеспечивают их бесперебойное и эффективное протекание (подготовка инструментов и оснастки, производство всех видов энергии, сжатого воздуха, и т. д.).



- **Обслуживающие производственные процессы** – это процессы труда по оказанию услуг, необходимых для осуществления основных и вспомогательных производственных процессов (складские и транспортные операции, контроль качества продукции и др.).
- Производственные процессы протекают в разных стадиях (фазах). **Стадия** – это обособленная часть производственного процесса, когда предмет труда переходит в другое качественное состояние (материал в заготовку, заготовка – в деталь и т. д.).



- **Сборочная** (сборочно-монтажная) стадия – это производственный процесс, в результате которого получают сборочные единицы (узлы, блоки) или готовые изделия.
- Различают две организационные формы сборки: стационарную и подвижную.
 - При стационарной сборке изделие изготавливается на одном рабочем месте.
 - При подвижной сборке изделие создается в процессе его перемещения от одного рабочего места к другому.



- **Заключительная регулировочно-настроечная стадия** проводится с целью получения необходимых технических параметров готового изделия. В качестве орудий труда на этой стадии выступают контрольно-измерительная аппаратура и специальные стенды для испытаний.
- Составными элементами стадий основного и вспомогательного процессов являются **технологические операции (ТО)**. **Операция** – часть производственного процесса, которая, как правило, выполняется на одном рабочем месте без переналадки оборудования одним или несколькими работниками.



- Технологические операции состоят из **установов** (часть ТО при неизменном закреплении детали или узла) и **переходов**.
- **Технологический переход** – законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.
- **Вспомогательный переход** не сопровождается изменением формы или состояния заготовки, но необходим для выполнения технологического перехода (установка заготовки, ее закрепление и т.д.).



- **Рабочий ход** – законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки и сопровождающееся изменением свойств или формы заготовки.
- **Вспомогательный ход** (холостой ход) – законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки и не сопровождающееся изменением свойств или формы заготовки.



Принципы организации производственных процессов

- При всем многообразии производственных процессов их организация подчиняется некоторым общим принципам.
- **Принцип дифференциации** предполагает разделение производственного процесса на отдельные технологические процессы, которые в свою очередь подразделяются на операции, переходы, приемы. При этом анализ особенностей каждого элемента позволяет выбрать наилучшие условия для его осуществления.



- При использовании современного высокопроизводительного гибкого оборудования (станки с ЧПУ, обрабатывающие центры, роботы и т. д.) действует **принцип концентрации операций и интеграции** производственных процессов. Концентрация предполагает выполнение нескольких операций на одном рабочем месте (универсальное многоцелевое сборочное оборудование).
- Интеграция заключается в объединении основных вспомогательных и обслуживающих процессов.



- **Принцип специализации** обуславливает выделение на предприятии цехов, участков, линий и отдельных рабочих мест, которые изготавливают продукцию ограниченной номенклатуры.
- Сокращение номенклатуры выпускаемой продукции, как правило, приводит к улучшению всех экономических показателей, в частности, к повышению уровня использования основных фондов предприятия, снижению себестоимости продукции, механизации и автоматизации производственных процессов.



- **Принцип пропорциональности** предполагает равную пропускную способность всех производственных подразделений.
- Нарушение этого принципа приводит к возникновению «узких» мест в производстве или, наоборот, к неполной загрузке отдельных рабочих мест, участков, цехов, к *снижению эффективности функционирования всего предприятия.*



- **Принцип прямоточности** означает такую организацию производственного процесса, при которой обеспечиваются кратчайшие пути прохождения деталей и сборочных единиц по всем стадиям и операциям.
- Поток материалов, полуфабрикатов и сборочных единиц должен быть без встречных и возвратных движений.
- Обеспечивается соответствующей планировкой расстановки оборудования по ходу технологического процесса.
- Классическим примером такой планировки является поточная линия.



- **Принцип непрерывности** означает, что работники трудятся без простоев, а оборудование работает без перерывов.
- Наиболее полно этот принцип проявляется в массовом или крупносерийном производстве при организации поточных методов производства, в частности при организации одно- и многопредметных непрерывно-поточных линий.
- Этот принцип обеспечивает сокращение цикла изготовления изделия и способствует повышению эффективности производства.



- **Принцип автоматичности** предполагает максимальное выполнение операций производственного процесса автоматически, только под наблюдением и контролем оператора.
- Автоматизация процессов приводит к увеличению объемов выпуска изделий, к повышению качества работ, к исключению ручного труда на работах с вредными условиями.
- Особенно важна автоматизация обслуживающих процессов.
- Общий уровень автоматизации процессов производства определяется долей автоматизированных работ в основном, вспомогательном и обслуживающем производствах.



- **Принцип стандартизации** предполагает широкое использование при создании и освоении новой техники и новой технологии стандартизации, унификации, типизации и нормализации, что позволяет избежать необоснованного многообразия в материалах, оборудовании, технологических процессах и резко сократить продолжительность цикла создания и освоения новой техники.



Производственный цикл изготовления изделий

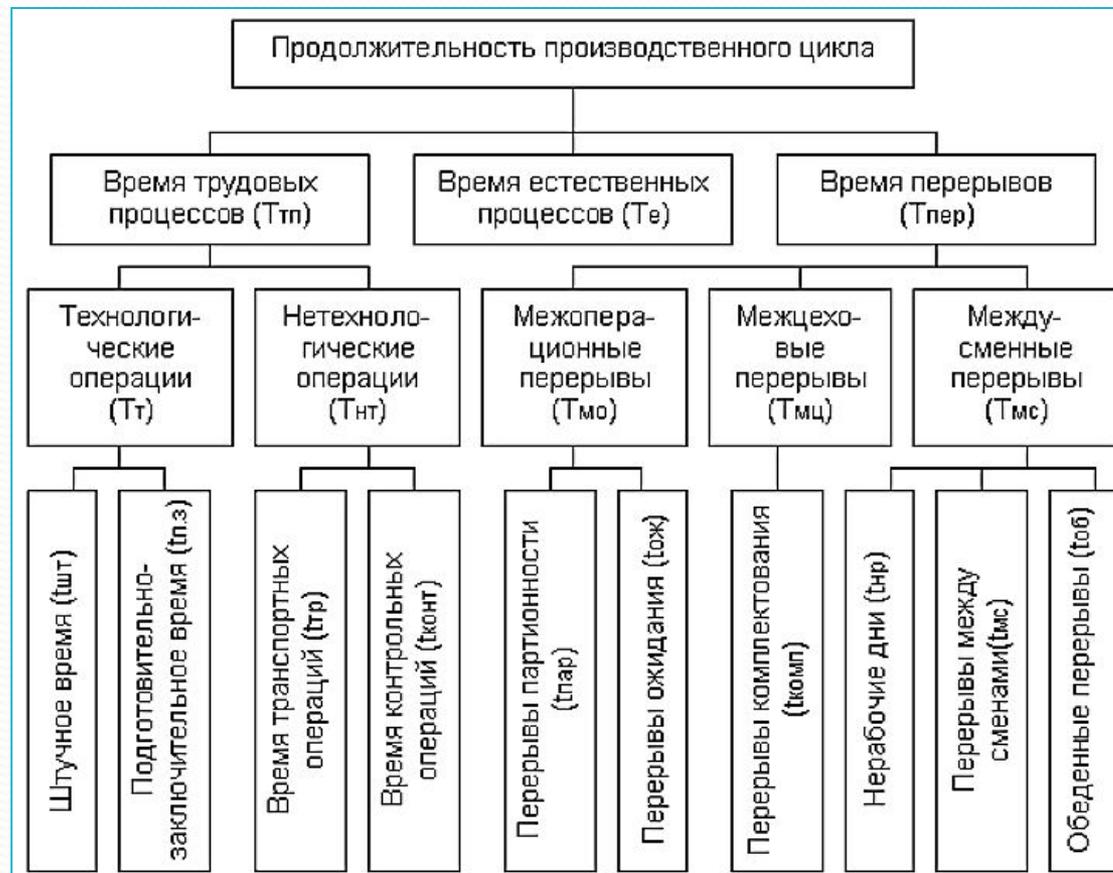
- При преобразовании предметов производства в конкретное изделие они проходят через множество основных, вспомогательных и обслуживающих процессов, протекающих параллельно, параллельно - последовательно или последовательно во времени в зависимости от сложившейся на предприятии производственной структуры, типа производства, уровня специализации производственных подразделений, форм организации производственных процессов.



- **Продолжительность производственного цикла изготовления продукции** – это календарный период времени, в течение которого материалы, полуфабрикаты и комплектующие изделия превращаются в готовую продукцию.
- Продолжительность производственного цикла, как правило, выражается в календарных днях.



Продолжительность производственного цикла зависит от времени трудовых и естественных процессов, а также от времени перерывов в производственном процессе (рис.1.2).





- В течение трудовых процессов выполняются технологические и нетехнологические операции.
- К технологическим относятся операции, в результате которых изменяются внешний вид и внутреннее содержание предметов труда, а также подготовительно - заключительные работы.



- Время выполнения технологических операций в производственном цикле составляет **технологический цикл** (Тц).
- Время выполнения одной операции, в течение которого изготавливается одна деталь, партия одинаковых деталей или несколько различных деталей, называется **операционным циклом** (Топ).



- К **нетехнологическим** относятся операции по транспортировке предметов труда и контролю качества продукции.
- Естественными считаются такие процессы, которые связаны с охлаждением деталей после термообработки, с сушкой после окраски деталей или других видов покрытия и со старением металла.



- **Перерывы** в зависимости от вызвавших их причин могут быть подразделены на:
 - межоперационные (внутрицикловые),
 - межцеховые,
 - междусменные.



- **Межоперационные перерывы** обусловлены временем партионности и ожидания и зависят от характера обработки партии деталей на операциях.
- **Межцеховые перерывы** обусловлены тем, что сроки окончания производства составных частей деталей сборочных единиц в разных цехах различны и детали пролеживают в ожидании комплектности.
- **Междусменные перерывы** обусловлены режимом работы предприятия и его подразделений. К ним относятся выходные и праздничные дни, перерывы между сменами и обеденные перерывы.



Производственная структура предприятия

- В соответствии со структурой производственного процесса на любом предприятии радиоэлектронного приборостроения различают основные, вспомогательные и побочные цехи и обслуживающие хозяйства.
- **Цех** – подразделение предприятия, состоящее из производственных и вспомогательных **участков**.
- **Цех выполняет определенные производственные функции**, обусловленные характером кооперации труда внутри предприятия.
- На большинстве промышленных предприятий цех является основной структурной единицей.



- К **цехам основного производства** относятся цехи, изготавливающие основную продукцию предприятия:
 - заготовительные (литейные, кузнечно-прессовые и др.),
 - обрабатывающие (механической обработки деталей, холодной штамповки, термические, гальванические, и др.),
 - сборочные (узловой и генеральной сборки, монтажные, регулировочно-настроечные и др.).



- К **вспомогательным** относятся цехи обслуживания основных цехов: оснащают их инструментом и приспособлениями, обеспечивают запасными частями для ремонта оборудования и проводят плановые ремонты, обеспечивают энергетическими ресурсами.
- **Структура предприятия** должна обеспечивать рациональное и эффективное сочетание всех звеньев производственного процесса.



- **Многообразие производственных структур** предприятий в зависимости от их специализации можно свести к следующим типам:
 - **с полным технологическим циклом**, располагающие всей совокупностью заготовительных, обрабатывающих и сборочных цехов;
 - **сборочного типа**, выпускающие готовые изделия из деталей и комплектующих, изготовляемых на других предприятиях;
 - **специализированные** на производстве заготовок, как правило, на принципах технологической специализации;
 - **подетальной специализации**, производящие отдельные детали, блоки, узлы, сборочные единицы.



- **Формы специализации цехов** предприятий зависят от стадий производства, а именно: заготовительной, обрабатывающей и сборочной.
- Соответственно **специализация** принимает следующие формы:
 - технологическую,
 - предметную,
 - предметно-технологическую.



- **При технологической форме** в цехах выполняется определенная часть технологического процесса из однотипных операций при широкой номенклатуре обрабатываемых деталей.
- **Примером** цехов технологической специализации могут служить:
 - гальванические,
 - механообрабатывающие,
 - сборочные.



- **Предметная форма специализации цехов** характерна для заводов узкой предметной специализации.
- В цехах полностью изготавливаются закрепленные за ними детали или изделия узкой номенклатуры, например одно изделие, несколько однородных изделий или конструктивно - технологически однородных деталей.



ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АППАРАТУРЫ

- **Объективной тенденцией совершенствования конструкций** радиоэлектронной техники - РЭА является постоянный рост её сложности, что объясняется расширением круга решаемых задач при одновременном повышении требований к эффективности работы.
- Усложнение схемных и конструкторских решений, функциональных связей вместе со значительным увеличением численности элементов в РЭА создаёт большие трудности при их производстве, особенно при сборке и монтаже аппаратуры, а также наладке и регулировке.



- Специфические условия обеспечения высокой надёжности РЭА и заданных характеристик в условиях эксплуатации обуславливают высокие требования к качеству используемых материалов, оборудования, а также к технологическим процессам (ТП) изготовления РЭА.
- Вместе с тем, **производство РЭА должно быть экономически эффективно.**



- При проектировании ТП следует предусматривать сокращение длительности и трудоёмкости этапа подготовки производства, капитальных затрат, численности сложных и трудоёмких операций, использование минимального числа единиц оборудования, максимального числа стандартных, унифицированных и типовых сборочных единиц и функциональных узлов РЭА.



- Производство РЭА должно быть экономически эффективно.
- При проектировании ТП следует предусматривать:
 - сокращение длительности и трудоёмкости этапа подготовки производства,
 - капитальных затрат,
 - численности сложных и трудоёмких операций,
 - использование минимального числа единиц оборудования,
 - максимального числа стандартных, унифицированных и типовых сборочных единиц и функциональных узлов РЭА.



- В настоящее время основными направлениями развития РЭА, позволяющими решать задачи уменьшения габаритов и массы аппаратуры, повышения её надёжности и технологичности, являются **микроминиатюризация аппаратуры, повышение степени интеграции и комплексный подход** к разработке, конструированию и технологии производства РЭА.



- **Повышение степени интеграции**, определяемой числом элементов, приходящихся на единицу площади подложки ИС или размещённых в одном кристалле, изменяет состав и структуру конструктивных уровней компоновки РЭА - увеличивается сложность элементной базы (модулей первого уровня), уменьшается число уровней, снижается сложность конструкции и уменьшаются габаритные размеры устройств.



- Относительная трудоёмкость производства сборочных единиц РЭА может быть представлена в таком соотношении: механическая обработка - 8...15, сборка - 15...20, электрический монтаж - 40...60, наладка - 20...25% .
- Следовательно, основными технологическими задачами производства РЭА являются:
 - разработка ИС на уровне ячеек и сборочных единиц РЭА с высокой степенью интеграции и совершенствование технологии их изготовления;
 - повышение плотности компоновки навесных элементов на печатных платах (ПП) и плотности печатного монтажа;



- совершенствование методов электрического соединения модулей первого, второго, и третьего уровней;
- механизация и автоматизация сборки и электрического монтажа модулей второго, третьего и четвёртого уровней;
- развитие автоматизированных и автоматических методов, а также средств наладки и регулировки аппаратуры сложных изделий;
- автоматизация операций контроля функциональных параметров;
- создание гибких комплексно-автоматизированных производств, функционирующих совместно с системами автоматизированного проектирования.



- **Изделием** в производстве называется любой предмет или набор предметов, подлежащих изготовлению. Изделием может быть деталь, сборочная единица, комплекс и комплект. Применительно к РЭА под изделием понимается как сама РЭА, так составляющие ее элементы и детали.
- **Деталь** - изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций, например ось, клемма, рама и т. д.



- **Сборочная единица** - изделие, составные части которого подлежат соединению на предприятии - изготовителе сборочными операциями (свинчивание, сварка, пайка, склеивание), например: ячейка, ТЭЗ, разъем, блок и т. д.



- **Комплекс** - два или более изделия, несоединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Каждое изделие в комплексе имеет свое назначение, например: измерительный комплекс, вычислительный комплекс, и т. д.



- **Комплект** - два или более изделия, несоединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющие набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например: ремонтный комплект, комплект запасных частей и т. д. Изделие, имеющее две или более детали, соединенные разъемным или неразъемным соединением, называют узлом.



- **Производственный процесс** представляет собой совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых для изготовления изделий.
- В состав производственного процесса входят все действия по:
 - изготовлению, сборке, контролю качества выпускаемых изделий;
 - хранению и перемещению его деталей, полуфабрикатов и сборочных единиц на всех стадиях изготовления;
 - организации снабжения и обслуживания рабочих мест, участков и цехов;
 - управлению всеми звеньями производства, а также комплекс мероприятий по технологической подготовке производства.



- Производственный процесс делится на основной и вспомогательный.
- К **основному производственному процессу** относят процессы по изготовлению продукции;
- к **вспомогательному** - процессы складирования, транспортировки, ремонта, энерго- и водоснабжения и др.



- **Технологический процесс** (техпроцесс) - часть производственного процесса, непосредственно связанная с последовательным изменением состояния предмета труда с превращением его в готовую продукцию.
- Технологические процессы строят по отдельным методам их выполнения (процессы литья, механической и термической обработки, покрытий, сборки, монтажа и контроля РЭА) и разделяют на операции.



- **Технологическая операция** - это законченная часть ТП, выполняемая на одном рабочем месте, над одним или несколькими изделиями, одним или несколькими рабочими.
- Условие непрерывности операции означает выполнение предусмотренной работы без перехода к изготовлению или сборке изделия.
- Состав операции устанавливают не только на основе технологических соображений, но и с учётом организационной целесообразности.



- **Технологическая операция** (ТО) является основной единицей производственного планирования и учёта.
- На основе операций оценивается трудоёмкость изготовления изделий, устанавливаются нормы времени и расценки, определяется требуемое количество рабочих, оборудования, приспособлений и инструментов, ведётся планирование производства и контроль качества работ.



- **В условиях автоматизированного производства** под операцией следует понимать законченную часть ТП, выполняемую непрерывно на автоматической линии.
- При гибком автоматизированном производстве непрерывность выполнения операции может нарушаться, например, направлением собранного полуфабриката, электронного узла на промежуточный склад-накопитель в периоды между отдельными позициями, выполняемыми на разных технологических модулях.



- Кроме технологических операций в состав ТП включают ряд необходимых для его осуществления вспомогательных операций (транспортных, контрольных, маркировочных и т. п.).
- **Технологические операции**, в свою очередь, делят на установы, позиции, переходы, приёмы.



- **Установ** или установка - часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки (заготовок) или собираемой сборочной единицы.
- **Технологический переход** (переход) - законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.



- **Вспомогательный переход** - законченная часть технологической операции, которая не сопровождается изменением формы или состояния заготовки, но необходима для выполнения технологического перехода.
- Например, установка заготовки, ее закрепление и т. д.
- **Проход** - часть перехода, заключающаяся в снятии одного слоя материала с обрабатываемой поверхности.



- **Рабочий ход** - законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости или свойств заготовки.
- **Вспомогательный ход** - законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки без изменения формы, размеров, шероховатости или свойств заготовки.



- **Холостой ход** - то же, что и вспомогательный ход для станков-автоматов.
- **Позиция** - каждое новое положение заготовки относительно инструментов при неизменном ее закреплении в приспособлении. Например, поворотное многопозиционное приспособление.
- **Прием** - это законченная совокупность действий человека в процессе выполнения работы или подготовки к ней, объединённых одним целевым назначением (пуск станка, выключение и т. п.).
- **Рабочее место** - часть производственной площади, оснащённой основным технологическим и вспомогательным оборудованием и средствами, закреплёнными для выполнения операции.



- **Такт выпуска** - интервал времени, через который производится выпуск изделий. Например, 1 компьютер через 10 мин.
- **Ритм выпуска** (производительность) - обратная величина такта - количество изделий в единицу времени.



Типы производства

- **В зависимости от номенклатуры**, регулярности, стабильности и объёма выпуска изделий выделяют три основных типа производства продукции –
 - единичное,
 - серийное,
 - массовое.
- **Единичное производство** характеризуется широтой номенклатуры и единичным или малым объёмом выпуска изделий.



- **Под объёмом выпуска** подразумевается количество изделий определённых наименований, типоразмера и исполнения, изготавливаемых предприятием или его подразделениями в течение планируемого интервала времени, процесс изготовления которых не повторяется или повторяется через неопределенный промежуток времени.



На предприятиях единичного производства количество выпускаемых изделий и размеры операционных партий заготовок и сборочных единиц, поступающих на рабочие места для выполнения технологических операций, исчисляются штуками и десятками штук.

- На рабочих местах выполняются разнообразные технологические операции, повторяющиеся нерегулярно или неповторяющиеся совсем, используется универсальное точное оборудование.



- Специальные инструменты и приспособления, как правило, не применяют, уровень механизации низкий.
- Взаимозаменяемость деталей и узлов во многих случаях отсутствует, широко распространена пригонка по месту.
- Все это требует высокой квалификация рабочих, т.к. от неё существенно зависит качество выпускаемой продукции.
- Всеми этими факторами определяется также и высокая себестоимость аппаратуры.



Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых периодически повторяющимися партиями.

- В зависимости от количества изделий в партии различают мелко-, средне- и крупносерийное производство.
- Выпуск партий еженедельный, ежемесячный или ежеквартальный.
- Объём выпуска изделий серийного типа колеблется от десятков и сотен до тысяч единиц.



- Для **серийного производства** характерно использование универсального, специализированного и автоматизированного оборудования и оснастки, для крупносерийного производства используют специальное и автоматическое оборудование.
- Оборудование расставляется по технологическим группам с учётом направления основных грузопотоков цехов по предметно - замкнутым участкам.
- Технологическая оснастка в основном универсальная, однако, во многих случаях (особенно в крупносерийном производстве) используется специальная высокопроизводительная оснастка.



- Для многономенклатурного серийного производства экономически выгодно использование гибких производственных систем (ГПС), для которых используют автоматизированную систему технологической подготовки производства (АСТПП), автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУТП).



- Средняя квалификация рабочих в серийном производстве обычно ниже, чем в единичном, т.к. наряду с рабочими высокой квалификации, работающими на сложном универсальном оборудовании, используются рабочие-операторы, работающие на настроенных станках, а производительность труда выше, чем при единичном производстве.
- В зависимости от объёма выпуска и особенностей изделий обеспечивается частичная взаимозаменяемость деталей и групповая взаимозаменяемость сборочных единиц, однако в ряде случаев на сборке применяется компенсация размеров и пригонка по месту.



Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объёмом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых в течение длительного периода времени.

- Коэффициент закрепления операций массового производства равен 1, т.е. на каждом рабочем месте закрепляется выполнение одной постоянно повторяющейся операции, требующей использования рабочих невысокой квалификации.



- Используется специальное высокопроизводительное оборудование, которое расставляется по ходу технологического процесса с промежуточными складами - накопителями деталей и сборочных единиц, и во многих случаях связывается конвейерами с постами промежуточного автоматического контроля.
- Оборудование и оснастка, как правило, специальное, дорогое и высокопроизводительное, требуемая точность достигается методами автоматического получения размеров на настроенных станках при обеспечении взаимозаменяемости обрабатываемых заготовок и собираемых узлов.



Технологические процессы в производстве РЭА

- В производстве элементов, сборочных единиц и устройств РЭА используется большой комплекс ТП, основанных на различных физических и химических методах обработки материалов.



- **Производство печатных плат (ПП)** основано на химическом, аддитивном, электрохимическом и комбинированном методах изготовления. Они различаются способами получения рисунка печатного монтажа и токопроводящего слоя.
- Промышленное применение нашли сеткографический способ офсетной печати, а также способ фотоформирования рисунка как наиболее перспективный при повышении плотности печатного монтажа и уменьшении ширины проводников.
- Проводящий слой получают травлением, химическим или химико-гальваническим наращиванием.



- Для указанных методов применяются типовые технологические операции: механическая обработка, нанесение рисунка, травления, химическое или химико-гальваническое осаждение меди, удаление защитной маски.
- Производство сборочных единиц и модулей РЭА основано на сборке и электрическом монтаже.
- Электромонтажные работы по получению контактных соединений выполняют различными методами: пайкой, сваркой, склеиванием, накруткой, механическим контактированием, а также электрическим монтажом (печатным, жгутовым, проводным на платах, плоскими кабелями).



- Механическое контактирование модулей более высоких уровней осуществляют с помощью электрических соединителей (разъёмов).
- Технология их изготовления построена на типовых операциях холодной листовой штамповки, переработки пластмасс, механической и химической обработки.
- Создание **гибридных тонкоплёночных ИС** основано на ТП термического и вакуумного напыления и распыления материалов с помощью ионной бомбардировки.



- Производство **толстоплёночных ИС** основано на нанесении элементов способом сеткографической печати, т.е. путём продавливания смеси мелкодисперсных порошков соответствующих материалов (резистивных, диэлектрических, проводящих) через сетчатый трафарет с последующей сушкой, вжиганием и подгонкой толстоплёночных элементов.



Виды технологических процессов

- Технологические процессы в зависимости от подробности их разработки, типизации, наличия оборудования и объема выпуска изделий классифицируют на следующие виды:
 - проектный (начальная стадия, много вариантов);
 - рабочий (конкретный, для работы);
 - единичный (ТП только на данное изделие, как правило, массовое производство);
 - типовой (на конструктивно подобные изделия, например, на изготовление печатных плат);
 - групповой (на технологически подобные изделия для мелкосерийного, многономенклатурного производства);



- маршрутный;
- операционный;
- временный (оперативный), для имеющегося на предприятии оборудования при изготовлении пробных изделий;
- стандартный (обязательный к применению в отрасли, государстве. Например, стандартные методики испытания электронно-вычислительной аппаратуры);
- перспективный (для вновь разрабатываемых производств или модернизации старых предприятий);
- маршрутно-операционный.



- Последние три определяют степень подробности разработки ТП.
- **Маршрутный процесс** определяет порядок (маршрут) следования операций, их вид и наименование, оборудование и оснастку для выполнения операций, трудоемкость выполнения операций и квалификацию работников. **Для мелкосерийного производства достаточна разработка маршрутной технологии.** При этом все параметры разработки заносятся в маршрутные карты.



- Для средне- и крупносерийного, а также массового производств после маршрутной технологии следует разработка **операционной технологии**, при этом каждая операция разрабатывается подробно, устанавливаются оборудование и оснастка, выбираются или рассчитываются технологические режимы.
- Операция дробится на технологические переходы, вычерчивается эскиз операции с установочными базами и настроечными размерами.
- Рассчитывается операционное время ($t_{оп}$) и устанавливается норма штучного времени ($T_{шт}$).
- Данные разработки заносятся в операционные карты.



- **Маршрутно-операционная технология** применяется, когда на отдельные наиболее сложные операции маршрутной технологии разрабатывается операционная технология.
- Исходными данными для разработки технологических процессов являются:
 - конструкторская документация на изделие (сборочные чертежи, рабочие чертежи, электрические схемы, монтажные схемы);



- технические требования на изделие, где указываются дополнительные требования к изделию, например, маркировка, виды контроля и испытаний;
- спецификация на входящие в изделие компоненты;
- объем выпуска продукции;
- сроки выпуска (еженедельно, ежемесячно, ежеквартально);
- наличие технологического оборудования, оснастки;
- справочная, нормативная литература, программы.



ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

- **Рациональная организация производственного процесса** невозможна без проведения технологической подготовки производства (ТПП), которая должна обеспечивать полную готовность предприятия к производству изделий РЭА в соответствии с заданными технико-экономическими показателями на высоком техническом уровне с минимальными трудовыми и материальными затратами.



- **Технологическая подготовка производства** - совокупность методов организации, управления и решения технологических задач на основе комплексной стандартизации, автоматизации и средств технологического оснащения.
- Базируется на единой системе технологической подготовки производства (ГОСТ 14.002-83).



- **Стандарты ЕСТПП устанавливают:**
 - общие правила организации управления производством,
 - предусматривают применение прогрессивных ТП,
 - стандартной технологической оснастки и оборудования,
 - средств механизации и автоматизации производственных процессов и инженерно-технических и управленческих работ (ГОСТ 14.001-83).



● **Основные задачи планирования ТПП:**

- определение состава, объёма и сроков работ по подразделениям;
 - выявление оптимальной последовательности и рационального сочетания работ.
- Изготавливаемые блоки, сборочные единицы и детали РЭА распределяют по производственным подразделениям, определяют трудовые и материальные затраты, проектируют технологические процессы и средства оснащения.



● При этом решают следующие задачи:

1. **Отработка конструкции изделия на технологичность.** Ведущие технологи проводят технологический контроль конструкторской документации, оценку уровня технологичности конструкции изделия, отработку конструкции изделия на технологичность.
2. **Прогнозирование развития технологии.** Изучение передового опыта в области технологии и подготовка рекомендаций по его использованию. Проведение лабораторных исследований по новым технологическим решениям, выявленным в процессе прогнозирования.



3. **Стандартизация технологических процессов.**
Проводится анализ конструктивных особенностей деталей, сборочных единиц и их элементов, обобщение результатов анализа и подготовка рекомендаций по их стандартизации, разработке типовых технологических процессов (ТП).

4. **Группирование технологических процессов.**
Осуществляется анализ и уточнение границ классификационных групп деталей, сборочных единиц, разработка групповых ТП.



5. **Технологическое оснащение.** Выполняется унификация и стандартизация средств технологического оснащения, выявляется трудоёмкая оригинальная оснастка, определяется потребность в универсальной таре для деталей и сборочных единиц. Проектирование и оснащение рабочих мест проводится согласно групповым и типовым технологическим процессам.

6. **Оценка уровня технологии.** Определяется уровень технологии на данном предприятии, устанавливаются основные направления и пути повышения уровня технологии.



7. **Организация и управление процессом ТПП.**
Распределение номенклатуры деталей и сборочных единиц между технологическими бюро, выявление узких мест в ТПП и мер по их ликвидации, контроль за выполнением работ по ТПП.

8. **Разработка технологических процессов.**
Разрабатывают новые и совершенствуют действующие единичные ТП и процессы технического контроля заготовок, деталей, сборки и испытания составных частей и изделий в целом, проводят корректировку ТП.



9. **Проектирование средств специального технологического оснащения.** Выбор вариантов специального технологического оборудования, выпускаемого промышленностью, или разработка технических заданий на его проектирование. Проектирование специального инструмента, приспособлений, штампов, пресс-форм и другой оснастки.

10. **Разработка норм.** Разработка технически обоснованных норм расхода материалов, затрат труда и времени на выполнение операций. Разработка стоимостных затрат по цехам для обеспечения хозрасчётной деятельности.



- В зависимости от размеров партий выпускаемых изделий РЭА характер ТПП серийного производства может изменяться в широких пределах, приближаясь к процессам массового (в крупносерийном) или единичного (в мелкосерийном) типа производства.
- Правильное определение характера проектируемого ТП и степени его технической оснащённости, наиболее рационального для данных условий конкретного серийного производства, является очень сложной задачей, требующей от технолога понимания реальной производственной обстановки и ближайших перспектив развития предприятия.



- Технологическая подготовка производства РЭА должна содержать оптимальные решения не только задач обеспечения технологичности изделия, проектирования и постановки производства, но и проведения изменений в системе производства, обусловленных последующим улучшением технологичности и повышением эффективности изделий. Поэтому современная ТПП сложных радиоэлектронных изделий должна быть автоматизированной и рассматриваться как органическая составная часть САПР - единой системы автоматизации проектных, конструкторских и технологических разработок.



Этапы разработки технологических процессов

- Правила разработки техпроцессов определены в рекомендациях Р50-54-93-88.
- В соответствии с этими правилами разработка ТП состоит из последовательности этапов, набор и характер которых зависит от типа запускаемого в производство изделия, вида ТП, типа производства.



- **Средства технологического оснащения** производства РЭА включают:
 - технологическое оборудование (в том числе контрольное и испытательное);
 - технологическую оснастку (в том числе инструменты и средства контроля);
 - средства механизации и автоматизации производственных процессов.



- **Технологическое оборудование** - это орудия производства, в которых для выполнения определённой части ТП размещаются материалы или заготовки и средства воздействия на них.
- **Технологическая оснастка** - это орудия производства, добавляемые к технологическому оборудованию для выполнения определённой части ТП.
- **Средства механизации** - это орудия производства, в которых ручной труд человека частично или полностью заменён машинным с сохранением участия человека в управлении машинами.
- **Средства автоматизации** - это орудия производства, в которых функции управления выполняют машины, приборы и ЭВМ.



- **Цехи по производству ПП** оснащены универсальным оборудованием, разработанным специально для выпуска такого вида продукции.
- Это механизированные и автоматизированные линии химической, электрохимической обработки, установки для нанесения фоторезистов и сеткографии, станки с ЧПУ для механической обработки, автоматизированные стенды контроля плат.
- **Оборудование с ЧПУ** применяют для изготовления фотошаблонов и трафаретов, сверления монтажных отверстий и фрезерования ПП.



- **В цехах лакокрасочных покрытий** высокий уровень механизации достигается путём организации технологических поточных линий.
- **Окрасочные и сушильные камеры** с ручной установкой деталей заменяются проходными камерами, а в качестве транспортирующих устройств используют конвейеры.
- **Окраска** является одним из видов обработки, где роботы нашли применение как автономные агрегаты, самостоятельно владеющие рабочим инструментом-распылителем.



- **Сборочные цехи** оснащены как универсальным, так и специальным оборудованием и оснасткой (конвейерные линии и рабочие места электромонтажников, оборудование по подготовке, установке и пайке радиодеталей на ПП, стенды для контроля и регулировки функциональных параметров сборочных единиц и пр.).
- **На оборудовании с ЧПУ** производят установку и пайку ИС с планарными выводами, а также осуществляют контроль электрических цепей ячеек.
- **Программное управление обеспечивает** автоматизацию проводного монтажа, контроль электрических цепей в модулях всех уровней.



- Предприятия, выпускающие РЭА на ИС частного применения, оснащены оборудованием, используемым в электронной промышленности: установки для диффузии, ионного легирования, термического окисления, оборудование для термического испарения материалов в вакууме, а также сборки и герметизации ИС.
- Важным показателем работы оборудования, технологической оснастки и правильности их выбора является степень использования каждого станка и оснастки в отдельности и всех вместе по разработанному процессу.