

# МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи



Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2016 г.

## РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Методические указания по выполнению лабораторной работы  
по дисциплине «Технология производства электронных средств»  
для студентов направления подготовки бакалавров  
11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»

УДК 621.396

Составители: В.В.Умрихин

Рецензент

Доктор технических наук, доцент *А. Ф.Рыбочкин*

**Расчет и анализ технологичности конструкции электронных средств:** методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Технология производства электронных средств» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.В.Умрихин. Курск, 2016. 30 с. Библиогр.: с. 30.

Содержат методические рекомендации по расчету и анализу технологичности узлов электронных средств. Указывается порядок выполнения лабораторной работы.

Предназначены для студентов направления подготовки бакалавров 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60×84 1/16.  
Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж экз. Заказ . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Целью настоящей работы является изучение методики расчета технологичности конструкций ЭС.

## **2. Теоретическая часть**

### **2.1. Определение и методы оценки технологичности**

Проектирование технологического процесса сборки и монтажа радиоэлектронной аппаратуры начинается с тщательного изучения исходных данных (ТУ и технических требований, комплекта конструкторской документации, программы выпуска и т. д.). На данном этапе основным критерием, определяющим пригодность аппаратуры к выпуску, является технологичность конструкции.

*Технологичность конструкций ЭС* - совокупность свойств конструкции, проявляющихся при технической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте, по сравнению с соответствующими показателями однотипных конструкций изделий того же назначения при обеспечении установленных значений показателей качества и принятых условиях изготовления, эксплуатации и ремонта.

Различают производственную, эксплуатационную, ремонтную технологичность при техническом обслуживании, технологичность конструкции детали и сборочной единицы, а также технологичность по процессу изготовления, форме поверхности, размерам и материалам.

*Производственная технологичность* обеспечивается сокращением затрат труда, средств и времени на технологическую подготовку производства и на процесс изготовления изделия;

*Эксплуатационная технологичность* проявляется в сокращении затрат труда, средств и времени на техническое обслуживание и ремонт изделия.

Вид изделия, тип производства и уровень развития науки и техники являются главными факторами, определяющими требования к технологичности конструкции изделия. Для оценки техноло-

гичности конструкции используются многочисленные показатели, которые делятся на качественные и количественные.

*Качественная оценка* характеризует технологичность конструкции изделия обобщенно, на основании опыта исполнителя. Качественную оценку вариантов конструкции изделия осуществляют для выбора лучшего конструктивного решения без определения степени различия технологичности сравниваемых вариантов. Она предшествует количественной и определяет ее целесообразность.

Для качественной оценки необходимы следующие документы: стандарты, регламентирующие применение материалов, профильного проката, крепежа, конструктивных элементов деталей, и технологические требования к деталям по видам производства; типовые решения специфических конструктивных элементов деталей и сборочных единиц (ДСЕ), отвечающих требованиям производства и т.д.

Качественную оценку можно осуществлять с помощью типовых качественных характеристик со стадии эскизного проекта: взаимозаменяемость, регулируемость конструкции, контролепригодность конструкции, инструментальная ее доступность и т.д.

*Количественная оценка* ведется с помощью показателей технологичности. Численное значение каждого показателя технологичности характеризует степень удовлетворения требований к технологичности конструкции, причем по какому-то одному признаку или же по их совокупности.

Показатели технологичности подразделяются на основные и дополнительные. *Основные показатели* характеризуют важнейшие признаки конструкции разрабатываемого изделия. К основным показателям относятся трудоемкость изготовления изделия и его себестоимость, а также различного рода показатели технологичности, характеризующие стандартизацию и унификацию конструкции, и различного рода комплексные показатели, например комплексный показатель технологичности, характеризующий технологичность конструкции по совокупности некоторых ее свойств.

Значения основных показателей делятся на базовые и достигнутые. *Базовые значения основного показателя* вносятся в ТЗ на разработку изделия и являются для разработчика и изготовителя

одним из основных ориентиров. Эти значения должны быть безусловно достигнуты на определенной стадии разработки конструкторской документации или на стадии ее доработки.

Достигнутое значение основного показателя технологичности – это значение, полученное на данной стадии разработки конструкторской документации или на стадии ее доработки.

*Дополнительные показатели технологичности* характеризуют технологичность конструкции изделия по какому-то одному признаку. Ими могут быть технико-экономические показатели трудоемкости, технико-экономические показатели себестоимости, технические показатели. К дополнительным технико-экономическим показателям трудоемкости относятся относительные трудоемкости различного рода работ при изготовлении данного изделия, например сборочно-монтажных, регулировочных и контрольно-испытательных, связанных с обработкой резанием, холодной штамповкой и т.д.

К дополнительным технико-экономическим показателям себестоимости относятся относительная себестоимость покупных комплектующих изделий и относительная технологическая себестоимость изделия.

К дополнительным техническим показателям относятся в промышленности, производящей ЭС, коэффициент освоенности деталей, коэффициент повторяемости ДСЕ, коэффициент применения типовых технологических процессов, коэффициент применения микросхем и микросборок и т.д.

Дополнительные показатели технологичности, если это необходимо, могут контролироваться на различных стадиях разработки технической документации. В некоторых отраслях при разработке и изготовлении изделия необязательно достижение заданного значения дополнительного показателя. Достаточно достичь определенного значения комплексного показателя, включающего в себя данный дополнительный показатель. В других отраслях, наоборот, при разработке и производстве изделия обязательно достижение не только базового значения комплексного показателя, но и заданных значений дополнительных показателей технологичности. При этом для каждого вида ЭС требуемый их уровень задан в нормативно-технических документах отрасли.

Классификация показателей технологичности приведена на рис.2.1.

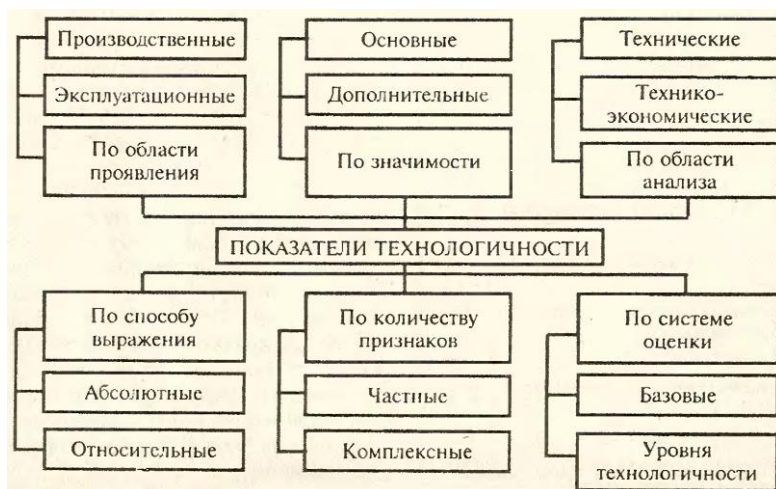


Рис.2.1. Классификация показателей технологичности

Номенклатура показателей технологичности конструкций выбирается в зависимости от вида изделия, специфики и сложности конструкции, типа производства и стадии разработки конструкторской документации.

## 2.2. Комплексный показатель технологичности

*Комплексный показатель технологичности* конструкции изделия - показатель, характеризующий несколько входящих в нее частных или комплексных свойств.

Базовые показатели технологичности блоков устройств в соответствии со стандартом отраслевой системы технологической подготовки производства ОСТ 4ГО.091.219–81 «Методы количественной оценки технологичности конструкций изделий РЭА» определяются для четырех основных групп: электронных, радиотехнических, электромеханических и коммутационных.

Для каждого блока рассчитывают не более семи показателей технологичности, каждый из которых имеет свою весовую характеристику  $\varphi_i$ , (табл.2.1).

**Весовые характеристики**

Порядковый номер частного показателя в ранжированной последовательности, $q$	Весовая характеристика, $\varphi_i$
1	1,0
2	1,0
3	0,8
4	0,5
5	0,3
6	0,2
7	0,1

Величина весовой характеристики зависит от порядкового номера частного показателя в ранжированной последовательности и рассчитывается по формуле

$$\varphi_i = \frac{q_i}{2^{q_i-1}}, \quad (2.1)$$

где  $q_i$  - порядковый номер частного показателя ранжированной последовательности.

Затем на основании расчета всех показателей вычисляют комплексный показатель технологичности:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^7 K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^7 \varphi_i}, \quad (2.2)$$

где  $K_i$  - частные  $i$  показатели (коэффициенты) технологичности.

Значение коэффициента технологичности находится в пределах  $1 < K < 1$ .

К *электронным устройствам* и *блокам* относятся логические и аналоговые блоки оперативной памяти, блоки автоматизированных систем управления и электронно-вычислительной техники, где число ИМС больше или равно числу ЭРЭ. Состав показателей технологичности для них в ранжированной последовательности приведен в табл. 2.2.

Таблица 2.2

**Значения и весовые коэффициенты базовых показателей технологичности электронного узла**

Порядковый номер показателя, $q$	Наименование показателя	Обозначение	Весовой коэффициент
1	Коэффициент применения интегральных схем и микросборок	$K_{MC}$	1,0
2	Коэффициент автоматизации и механизации монтажа изделий	$K_{AM}$	1,0
3	Коэффициент автоматизации и механизации подготовки ЭРЭ к монтажу	$K_{МП.ЭРЭ}$	0,8
4	Коэффициент автоматизации и механизации регулировки и контроля	$K_{АРК}$	0,5
5	Коэффициент повторяемости ЭРЭ	$K_{ПОВ.ЭРЭ}$	0,3
6	Коэффициент применения типовых ТП	$K_{ТП}$	0,2
7	Коэффициент прогрессивности формообразования деталей	$K_{Ф}$	0,1

Коэффициент применения микросхем и микросборок рассчитывается по формуле:

$$K_{MC} = \frac{H_{Э.МС}}{H_{Э.МС} + H_{ИЭТ}}, \quad (2.3)$$

где  $H_{Э.МС}$  - общее число дискретных элементов, замененных микросхемами и микросборками;  $H_{ЭРЭ}$  - общее число ЭРЭ, не вошедших в микросхемы.

Микросхемы и микросборки в изделии резко уменьшают габаритные размер, а также затраты времени и средств на механическую обработку деталей. Это связано с тем, что применение в конструкциях изделий микросхем и микросборок уменьшает размеры несущих конструкций, на которых монтируются ЭРЭ, а также размеры и число деталей, используемых при монтаже. Но применение в изделии микросхем и микросборок может привести к возрастанию затрат времени и средств на настройку, регулировку и особенно входной контроль ЭРЭ. Это связано с тем, что у элементов одного типа электрические параметры могут отличаться от образца к образцу.

Если применяемые микросхемы имеют малую интеграцию, т.е. заменяют собою небольшое число дискретных элементов, то применение их не дает заметного роста технологичности изделия.



Коэффициент автоматизации и механизации монтажа рассчитывается по формуле

$$K_{AM} = \frac{H_{AM}}{H_M}, \quad (2.4)$$

где  $H_{AM}$  - количество монтажных соединений ЭРЭ, которые предусматривается осуществить автоматизированным или механизированным способом (для блоков на печатных платах к механизации относится и установка ЭРЭ, и последующая пайка);  $H_M$  - общее количество монтажных соединений (для разъемов, реле, микросхем и ЭРЭ определяется по количеству выводов).

Ввод в действие автоматизированных линий сборки способствует повышению коэффициента автоматизации и механизации монтажа. Если программа выпуска изделий мала, то вводить автоматизированные линии сборки, а также широкую механизацию сборки может оказаться нецелесообразным из-за того, что расходы на автоматизацию и механизацию сборки перекрывают экономию от их применения.

Коэффициент автоматизации и механизации подготовки ЭРЭ к монтажу рассчитывается по формуле

$$K_{МП.ЭРЭ} = \frac{H_{МП.ЭРЭ}}{H_{П.ЭРЭ}}, \quad (2.5)$$

где  $H_{МП.ЭРЭ}$  - количество ЭРЭ в штуках, подготовка выводов которых осуществляется с помощью полуавтоматов и автоматов, в число их включаются ЭРЭ, не требующие специальной подготовки (патроны, реле, разъемы и т.д.);  $H_{П.ЭРЭ}$  - общее число ЭРЭ, которые должны подготавливаться к монтажу в соответствии с требованиями конструкторской документации.

Этот показатель будет иметь более высокое значение лишь в том случае, когда значительная часть трудоемкости изготовления изделия падает на подготовку ЭРЭ к монтажу.

Коэффициент автоматизации и механизации регулировки и контроля рассчитывается по формуле

$$K_{APK} = \frac{H_{APK}}{H_{PK}}, \quad (2.6)$$

где  $H_{APK}$  - число операций контроля и настройки, выполняемых на полуавтоматических и автоматических стандах;  $H_{PK}$  - общее количество операций контроля и настройки.

В технологическом процессе сборки и монтажа две операции: визуальный и электрический контроль являются обязательными. Если в конструкции имеются регулировочные элементы (каатушки индуктивности с подстроечными сердечниками, переменные резисторы и т.п.), то количество операций регулировки увеличивается пропорционально числу таких элементов.

Этот коэффициент будет иметь большее значение, если при изготовлении изделия значительные затраты труда приходится на операции регулировки и контроля.

Коэффициент повторяемости ЭРЭ рассчитывается по формуле

$$K_{\text{пов.ЭРЭ}} = 1 - \frac{H_{\text{т.оп.ЭРЭ}}}{H_{\text{т.ЭРЭ}}}, \quad (2.7)$$

где  $H_{\text{т.оп.ЭРЭ}}$  - количество типоразмеров оригинальных ЭРЭ в ЭС (к оригинальным относятся ЭРЭ, разработанные и изготовленные впервые по ТУ; типоразмер определяется компоновочным размером и стандартом на элемент);  $H_{\text{т.ЭРЭ}}$  - общее количество типоразмеров ЭРЭ в ЭС.

Коэффициент применения типовых ТП рассчитывается по формуле

$$K_{\text{ТП}} = \frac{D_{\text{ТП}} + E_{\text{ТП}}}{D + E}, \quad (2.8)$$

где  $D_{\text{ТП}}$  и  $E_{\text{ТП}}$  - общее число деталей и сборочных единиц (ДСЕ), изготавливаемых с применением типовых и групповых технологических процессов;  $D$  и  $E$  - общее число деталей и сборочных единиц, кроме крепежа.

Изделие, изготовленное с применением большого числа типовых технологических процессов, будет технологичнее аналогичного изделия, при изготовлении которого типовые технологические процессы не применялись или применялись очень мало. Основная

причина этого – большая отлаженность типового технологического процесса.

Основой разработки типовых технологических процессов является группирование деталей по конструктивно-технологическому подобию. Деталь, которую требуется изготовить данным способом, с помощью соответствующих нормативно-технологических документов относится инженером-технологом по конструктивно-технологическим признакам к определенной группе деталей, на которую уже имеется типовой технологический процесс. Детали, входящие в группу, отличаются друг от друга по своей конструкции, поэтому при разработке индивидуальной технологии, базирующейся на технологии типовой, необходимо учесть эти индивидуальные отличия.

Коэффициент прогрессивности формообразования деталей рассчитывается по формуле

$$K_{\phi} = \frac{D_{\text{ТПР}}}{D}, \quad (2.9)$$

где  $D_{\text{ТПР}}$  - детали, изготовленные по прогрессивным ТП (штамповка, прессование из пластмасс, литье, порошковая металлургия и т.д.);  $D$  - общее число деталей (без учета нормализованного крепежа).

Значение этого коэффициента будет выше в том случае, когда в изделии, во-первых, много деталей, изготавливаемых на предприятии различными методами формообразования; во-вторых, когда удельный вес трудозатрат, связанных с формообразованием, высок относительно трудозатрат, связанных с монтажом, регулировкой и настройкой. Если нас интересуют не только трудозатраты, но и расход материалов, то коэффициент будет выше. Это связано с тем, что прогрессивные методы формообразования в подавляющем большинстве случаев дают минимальное количество материала, уходящего в отходы.

К *радиотехническим устройствам* относятся приемно-усилительные приборы и блоки, источники питания, генераторы сигналов, телевизионные блоки и т.д. Состав показателей технологичности для них приведен в табл. 2.3.

## Радиотехнические устройства

Порядковый номер показателя, $q$	Наименование показателя	Обозначение	Весовой коэффициент
1	Коэффициент автоматизации и механизации монтажа	$K_{AM}$	1,0
2	Коэффициент автоматизации и механизации подготовки ЭРЭ к монтажу	$K_{МП.ЭРЭ}$	1,0
3	Коэффициент освоенности деталей и сборочных единиц (ДСЕ)	$K_{ОСВ}$	0,8
4	Коэффициент применения микросхем и микросборок	$K_{МС}$	0,5
5	Коэффициент повторяемости ПП	$K_{ПОВ.ПП}$	0,3
6	Коэффициент применения типовых ТП	$K_{ТП}$	0,2
7	Коэффициент автоматизации и механизации регулировки и контроля	$K_{АРК}$	0,1

Коэффициент освоенности ДСЕ рассчитывается по формуле

$$K_{ОСВ} = \frac{D_{ТЗ}}{D_T}, \quad (2.10)$$

где  $D_{ТЗ}$  - количество типоразмеров заимствованных ДСЕ, ранее освоенных на предприятии;  $D_T$  - общее количество типоразмеров ДСЕ.

С точки зрения технологичности изделия мы заинтересованы применять во вновь разрабатываемой конструкции ЭС детали, уже освоенные при производстве других изделий, для которых имеем хорошую освоенную технологию их изготовления, а также технологическую оснастку, контрольно-измерительную аппаратуру, специальное технологическое оборудование. Оригинальные детали (разработанные впервые при конструировании данного нового изделия) надо использовать только в тех случаях, когда без них обойтись практически невозможно.

Коэффициент повторяемости ПП рассчитывается по формуле

$$K_{ПОВ.ПП} = 1 - \frac{D_{ППИ}}{D_{ПП}}, \quad (2.11)$$

где  $D_{ППИ}$  - число типоразмеров ПП в изделии;  $D_{ПП}$  - общее число ПП.

Влияние этого показателя на технологичность будет тем больше, чем больше печатных плат применяется в изделии. Особенно сильным оно может оказаться при автоматизированной сборке сборочных единиц на печатных платах. Если автоматическая линия изготовлена с учетом определенных максимальных размеров печатных плат и размеры всех печатных плат, применяемых в изделии, не больше этих максимальных размеров, то при автоматизированной сборке на печатных платах можно обойтись только одной линией. Если размеры печатных плат превышают максимальные размеры печатной платы, по которой спроектирована автоматическая линия, то для автоматизированной сборки понадобится еще одна линия (или более), что приведет к дополнительным затратам труда, материалов, времени и средств.

К *электромеханическим устройствам* относятся механизмы привода, отсчетные устройства, кодовые преобразователи и т.д. Состав показателей технологичности для них приведен в табл.2.4.

Коэффициент точности обработки рассчитывается по формуле

$$K_{TЧ} = 1 - \frac{D_{TЧ}}{D_D}, \quad (2.12)$$

где  $D_{TЧ}$  - число деталей (без учета стандартных и крепежных), качество размеров которых не выше 10 (точность резьбовых поверхностей при расчете не учитывается);  $D_D$  - общее число деталей в изделии.

Таблица 2.4

### Электромеханические устройства

Порядковый номер показателя, $q$	Наименование показателя	Обозначение	Весовой коэффициент
1	Коэффициент точности обработки	$K_{TЧ}$	1,0
2	Коэффициент прогрессивности формообразования деталей	$K_{Ф}$	1,0
3	Коэффициент сложности обработки	$K_{СО}$	0,8
4	Коэффициент повторяемости деталей и сборочных единиц	$K_{ПОВ.ДСЕ}$	0,5
5	Коэффициент параллельности сборки	$K_{П.СБ}$	0,3
6	Коэффициент сложности сборки	$K_{С.СБ}$	0,2
7	Коэффициент использования материалов	$K_{ИМ}$	0,1

Коэффициент сложности обработки рассчитывается по формуле

$$K_{CO} = 1 - \frac{D_M}{D}, \quad (2.13)$$

где  $D_M$  - число деталей, включая заимствованные и стандартные, требующие обработки снятием стружки;  $D$  - общее число деталей.

Коэффициент повторяемости деталей и сборочных единиц рассчитывается по формуле

$$K_{ПОВ.ДСЕ} = 1 - \frac{D_T - E_T}{D + E}, \quad (2.14)$$

где  $D_T$  и  $E_T$  - общее число типоразмеров деталей и сборочных единиц без учета нормализованного крепежа;  $D$  и  $E$  - общее число деталей и сборочных единиц.

Рост повторяемости в изделии ДСЕ должен способствовать росту его технологичности. В общем случае выгоднее изготовить две одинаковые детали, чем две разные.

При конструировании изделия (сборочной единицы) целесообразно использовать резисторы одного типа (или несколько типов резисторов, имеющих одинаковые габаритные размеры) и одной номинальной мощности, дроссели одного габаритного размера, диоды одного типа корпуса и одних габаритных размеров, конденсаторы с минимальным числом типоразмеров корпуса, переключки без изоляции с одним типоразмером. Однотипные ЭРЭ должны иметь единый типоразмер. Необходимо отметить, что ЭРЭ, такие как диоды, дроссели, резисторы являются сборочными единицами.

Коэффициент параллельности сборки рассчитывается по формуле

$$K_{П.СБ} = \frac{E_{П.СБ}}{E}, \quad (1.15)$$

где  $E_{П.СБ}$  - число сборочных единиц, допускающих параллельную сборку;  $E$  - общее число сборочных единиц.

Параллельность сборки относительно слабо влияет на трудоемкость изготовления изделия, но очень сильно влияет на время его изготовления, если ЭС содержат в себе много узлов.

Коэффициент сложности сборки рассчитывается по формуле

$$K_{C.CB} = 1 - \frac{E_{ТСЛ}}{E_T}, \quad (2.16)$$

где  $E_{ТСЛ}$  - число типоразмеров сборочных единиц, входящих в изделие и требующих регулировки и полгонки в процессе сборки;  $E_T$  - общее количество типоразмеров сборочных единиц.

Коэффициент использования материалов рассчитывается по формуле

$$K_{ИМ} = \frac{M}{M_{KM}}, \quad (1.17)$$

где  $M$  - масса изделия без учета комплектующих изделий и тары;  $M_{KM}$  - масса конструкционного материала:

$$M = M_{iE} + M_{jД}, \quad (1.18)$$

где  $M_{iE}$  - масса  $i$ -ой сборочной единицы;  $M_{jД}$  - масса  $j$ -ой детали, являющейся составной частью изделия.

К коммутационным устройствам относятся соединительные, распределительные блоки, коммутаторы и т.п. Состав показателей технологичности для них приведен в табл. 2.5.

Таблица 2.5.

### Коммутационные устройства

Порядковый номер показателя, $q$	Наименование показателя	Обозначение	Весовой коэффициент
1	Коэффициент повторяемости материалов	$K_{ПОВМ}$	1,0
2	Коэффициент сложности сборки	$K_{ССБ}$	1,0
3	Коэффициент точности обработки	$K_{ТЧ}$	0,8
4	Коэффициент прогрессивности формообразования деталей	$K_{Ф}$	0,5
5	Коэффициент использования материалов	$K_{ИМ}$	0,3

Коэффициент повторяемости материалов рассчитывается по формуле

$$K_{ПОВ,М} = 1 - \left( \frac{D_{ММ}}{D_T} \right), \quad (2.19)$$

где  $D_{ММ}$  - число маркосортментов материалов. Применяемых в изделии (под маркосортментом понимается сочетание марки материала и профиля его поставки);  $D_T$  - количество типоразмеров оригинальных деталей.

Рассчитанные значения комплексных показателей технологичности конструкций изделий аппаратуры сравниваются с нормативными значениями, которые зависят от стадии разработки рабочей документации (табл.2.6).

Таблица 2.6

**Нормативные значения комплексных показателей технологичности**

Наименование класса блока	Значения $K$ для стадий разработки рабочей документации		
	Опытный образец (партия)	Установочная серия	Установившееся серийное производство
Электронные	0,30...0,60	0,40...0,70	0,50...0,75
Электромеханические	0,20...0,50	0,40...0,60	0,45...0,65
Механические	0,10...0,30	0,25...0,35	0,30...0,40
Радиотехнические	0,20...0,50	0,25...0,35	0,30...0,60
Соединительные, коммутационные, распределительные	0,20...0,60	0,25...0,65	0,30...0,70

С целью повышения технологичности конструкций устройств необходимо выполнение следующих мероприятий:

1) совершенствование конструкции блоков путем:

- расширения использования ИМС, микросборок, функциональных элементов;

- увеличения сборности конструкции за счет использования базовых несущих конструкций (БНК);

- увеличения количества деталей, изготовленных прогрессивными способами формообразования;

- обоснования выбора квалитетов точности, шероховатости поверхности;

- рациональной компоновки элементов на плате, что обеспечивает автоматизированную сборку и монтаж;



- минимизации числа подстроечных и регулировочных элементов;

2) совершенствование технологических процессов:

- автоматизацией подготовки элементов к монтажу;
- совершенствованием ТП сборки и монтажа;
- автоматизацией операций контроля и настройки;
- применением прогрессивных методов формообразования.

### **2.3. Обеспечение технологичности конструкции**

Обеспечение технологичности конструкции включает:

- отработку конструкции на технологичность на всех стадиях разработки изделия, при технологической подготовке производства и, в обоснованных случаях, при изготовлении изделия;

- совершенствование условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте изделий и фиксация принятых решений в технологической документации;

- количественную оценку технологичности конструкции изделий;

- технологический контроль конструкторской документации;

- подготовку и внесение изменений в конструкторскую документацию по результатам технологического контроля, обеспечивающих достижение базовых значений показателей технологичности.

При проведении отработки конструкции изделия на технологичность следует учитывать:

- вид изделия, степень его новизны и сложности, условия изготовления, технического обслуживания и ремонта, а также монтажа вне предприятия–изготовителя;

- перспективность изделия, объем его выпуска;

- передовой опыт предприятия-изготовителя и других предприятий с аналогичным производством, новые высокопроизводительные методы и процессы изготовления;

- оптимальные условия конкретного производства при рациональном использовании имеющихся средств технологического оснащения и производственных площадей и планомерном внедрении

нии новых передовых технологических методов и средств производства;

- связь достигнутых показателей технологичности с другими показателями качества изделия.

Технологичность конструкции специфицируемого изделия рассматривают относительно всего изделия, учитывая технологичность составных частей, сборки, испытаний, монтажа вне предприятия-изготовителя, технического обслуживания и ремонта.

Отработка конструкции изделия на технологичность должна обеспечивать на основе достижения технологической рациональности и оптимальной конструктивной и технологической преемственности конструкции изделия решение следующих основных задач:

- снижение трудоемкости и себестоимости изготовления изделия и его монтаже вне предприятия-изготовителя;

- снижение трудоемкости, стоимости и продолжительности технического обслуживания и ремонта изделия;

- снижение важнейших составляющих общей материалоемкости изделия — расхода металла и топливно-энергетических ресурсов при изготовлении, монтаже вне предприятия-изготовителя, техническом обслуживании и ремонте.

Комплекс работ по снижению трудоемкости и себестоимости изготовления изделия и его монтаже вне предприятия-изготовителя в общем случае включает:

- повышение серийности изделия и его составных частей при изготовлении (обработка, сборка, испытание) посредством стандартизации, унификации и обеспечения конструктивного подбора;

- ограничение номенклатуры составных частей, конструктивных элементов и применяемых материалов;

- применение в разрабатываемых конструкциях освоенных в производстве конструктивных решений, соответствующих современным требованиям;

- применение высокопроизводительных и малоотходных технологических решений, основанных на типизации процессом и других прогрессивных формах их организации;

- применение высокопроизводительных стандартных средств технологического оснащения, обеспечивающих оптимальный уровень механизации и автоматизации труда в производстве;

- использование конструктивных решений, позволяющих снизить затраты на обеспечение: доступа к составным частям: установки и съема составных частей изделия;

- использование конструктивных решений, обеспечивающих возможность транспортирования изделия в собранном виде или в виде законченных составных частей, не требующих при монтаже разборки для расконсервации, ревизии, а также операций по подгонке;

- использование конструктивных решений, облегчающих и упрощающих условия изготовления и монтажа вне предприятия-изготовителя для ограничения требований к квалификации изготовителей и монтажников.

Комплекс работ по снижению трудоемкости, стоимости и продолжительности технического обслуживания и ремонта изделия в общем случае включает:

- использование конструктивных решений, позволяющих снизить затраты на проведение подготовки к использованию по назначению, технического контроля, технического диагностирования и на транспортирование изделия;

- использование конструктивных решений, позволяющих снизить затраты на обеспечение: доступа к составным частям; замены составных частей изделия такими же частями при сохранении установленного качества изделия в целом; установки и съема составных частей изделия; восстановления геометрических характеристик и качества поверхности детали;

- повышение требований по унификации и стандартизации составных частей изделия;

- ограничение числа сменяемых составных частей изделия, номенклатуры материалов, инструмента, вспомогательного оборудования и приспособлений;

- использование конструктивных решений, облегчающих и упрощающих условия технического обслуживания и ремонта для

ограничения требований к квалификации персонала, осуществляющего техническое обслуживание и ремонт.

Комплекс работ по снижению материалоемкости изделия включает:

- применение рациональных сортаментов и марок материалов, рациональных способов получения заготовок, методов и режимов упрочнения деталей;

- разработку и применение прогрессивных конструктивных решений, позволяющих повысить ресурс изделия и использовать малоотходные и безотходные технологические процессы;

- разработку рациональной компоновки изделия, обеспечивающей сокращение расхода материала при монтаже вне предприятия-изготовителя;

- внедрение научно обоснованных запасов прочности металлоконструкций, типовых методов расчетов и испытаний изделия.

Отработка конструкции изделия на технологичность производится совместно разработчиками конструкторской и технологической документации, предприятиями-изготовителями изделия и представителями заказчика (специалистами по техническому обслуживанию и ремонту техники). Для изделий типа «сборочная единица» или «комплекс», подлежащих монтажу вне предприятия-изготовителя, в отработке конструкции изделия на технологичность должны участвовать представители организаций, назначаемых уполномоченным органом, осуществляющим монтажные работы. В необходимых случаях к отработке конструкции изделия на технологичность должны привлекаться специализированные технологические институты.

Ответственными исполнителями отработки конструкции изделия на технологичность являются разработчики конструкторской документации. Организация отработки конструкции изделий на технологичность должна быть установлена отраслевыми стандартами или стандартами предприятия.

Отработку конструкции изделия на технологичность при выполнении опытно-конструкторских работ проводят в общем случае на основе комплексного использования специальных мето-

дов, обеспечивающих технологическую рациональность и конструктивно-технологическую преемственность изделия:

- типизации конструктивных схем и компоновок изделия и его составных частей;
- унификации, агрегатирования и взаимозаменяемости изделия и его составных частей;
- блочно-модульного построения систем и устройств;
- функционально-стоимостного анализа изделий и его составных частей;
- экономико-математического моделирования взаимосвязей основных функциональных и конструктивно-технологических характеристик изделия, влияющих на затраты труда и материалов при разработке, изготовлении, техническом обслуживании и ремонте, с показателями эффективности производства и (или) эксплуатации изделия;
- оптимизационных методов выбора физико-химических и механических свойств материалов и видов исходных заготовок, назначения точности и шероховатости поверхностей детали, выбора формы и расположения поверхностей деталей и видов соединений их с сопрягаемыми деталями;
- размерного анализа конструктивных исполнений деталей и сборочных единиц;
- заимствования и симплификации составных частей, конструктивных элементов и материалов изделия.

Основное содержание работ по обеспечению технологичности конструкции изделия в зависимости от стадии разработки конструкторской документации устанавливается отраслевыми стандартами или стандартами предприятия, разрабатываемыми на основе требования стандарта и ГОСТ 14.201-83.

При разработке технического задания на изделие для обеспечения технологичности конструкции изделия в общем случае проводят:

- сбор информации о технологичности конструкции изделий-аналогов;
- установление требований к технологичности разрабатываемой конструкции изделия;

- выбор номенклатуры базовых показателей технологичности;

- расчет значений базовых показателей технологичности.

Изменения конструкции изделия, необходимость внесения которых возникает в процессе серийного (массового) производства в связи с улучшением характеристик технологичности, не должны нарушать стабильного хода производственного процесса и показателей качества.

Изменения конструкции изделия, находящегося в серийном производстве, проводят в новой серии в зависимости от вида, назначения, условий производства и эксплуатации изделия.

### **3. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ**

3.1. Изучить теоретический материал.

3.2. Получить индивидуальное задание.

3.3. Определить вид устройства (электронное, радиотехническое, электромеханическое, коммутационное).

3.4. В соответствии с видом устройства рассчитать частные показатели технологичности и заполнить соответствующую таблицу из приложений (прил.1 – прил.4);

3.5. Рассчитать комплексный показатель технологичности.

3.6. По полученному комплексному показателю необходимо сделать вывод о технологичности проектируемого устройства и целесообразности его изготовления.

3.7. Оформить отчет по работе.

### **4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

4.1. Какая конструкция блока ЭС называется технологичной?

4.2. Как выполняется оценка технологичности блоков ЭС?

4.3. Перечислите базовые показатели технологичности для известных устройств ЭС.

4.4. Что называется комплексным показателем технологичности и как он определяется?

4.5. Каким коэффициентом характеризуется весовая значимость базовых показателей технологичности?

4.6. Назовите типы блоков ЭС.

4.7. Чему равны установленные нормативные значения комплексного показателя технологичности для известных типов устройств ЭС?

4.8. Как повысить технологичность конструкции устройства?

4.9. Какие виды мероприятий включает в себя обеспечение технологичности конструкции?

4.10. Что необходимо учитывать при проведении отработки конструкции изделия на технологичность?

4.11. Какие задачи решает отработка конструкции изделия на технологичность?

4.12. Назовите комплекс работ по снижению трудоемкости и себестоимости изготовления изделия и его монтажу вне предприятия-изготовителя.

4.13. Назовите виды работ по снижению материалоемкости изделия.

4.14. Кто является ответственными исполнителями отработки конструкции изделия на технологичность?

4.15. На основе каких методов проводят отработку конструкции изделия на технологичность при выполнении опытно-конструкторских работ?

4.16. Какие работы проводят при разработке технического задания на изделие для обеспечения технологичности конструкции изделия?

## **5. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

5.1. ГОСТ 14.205-83 ЕСТПП. Технологичность конструкции изделий. Термины и определение

5.2. ГОСТ 14.201-83 ЕСТПП. Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования

5.3. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов / К.И.Билибин, А.И.Власов, Л.В.Журавлева и др. Под общ. Ред. В.А.Шахнова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002.-528 с.

### Исходные данные для расчета комплексного показателя электронного устройства

№	Вычисляемый показатель	Значение показателя	Название и обозначение параметра	Значение параметра
1	$K_{AM} = \frac{H_{AM}}{H_M}$		$H_{AM}$ - количество монтажных соединений ЭРЭ, которые предусматривается осуществить автоматизированным или механизированным способом	
			$H_M$ - общее количество монтажных соединений	
2	$K_{МП.ЭРЭ} = \frac{H_{МП.ЭРЭ}}{H_{П.ЭРЭ}}$		$H_{МП.ЭРЭ}$ - количество ЭРЭ в штуках, подготовка выводов которых осуществляется с помощью полуавтоматов и автоматов, в число их включаются ЭРЭ, не требующие специальной подготовки (патроны, реле, разъемы и т.д.)	
			$H_{П.ЭРЭ}$ - общее число ЭРЭ, которые должны подготавливаться к монтажу в соответствии с требованиями конструкторской документации	
3	$K_{МС} = \frac{H_{Э.МС}}{H_{Э.МС} + H_{ИЭТ}}$		$H_{Э.МС}$ - общее число дискретных элементов, замененных микросхемами и микросборками	
			$H_{ЭРЭ}$ - общее число ЭРЭ, не вошедших в микросхемы	
4	$K_{АРК} = \frac{H_{АРК}}{H_{РК}}$		$H_{АРК}$ - число операций контроля и настройки, выполняемых на полуавтоматических и автоматических стендах	
			$H_{РК}$ - общее количество операций контроля и настройки	
5	$K_{ПОВ.ЭРЭ} = 1 - \frac{H_{Т.ОР.ЭРЭ}}{H_{Т.ЭРЭ}}$		$H_{Т.ОР.ЭРЭ}$ - количество типоразмеров оригинальных ЭРЭ в ЭС (к оригинальным относятся ЭРЭ, разработанные и изготовленные впервые по	



			ТУ	
			$N_{T.ЭРЭ}$ - общее количество типоразмеров ЭРЭ в ЭС	
6	$K_{ТП} = \frac{D_{ТП} + E_{ТП}}{D + E}$		$D_{ТП}$ и $E_{ТП}$ - общее число деталей и сборочных единиц (ДСЕ), изготавливаемых с применением типовых и групповых технологических процессов	
			$D$ и $E$ - общее число деталей и сборочных единиц, кроме крепежа	
7	$K_{\Phi} = \frac{D_{ПР}}{D}$		$D_{ПР}$ - детали, изготовленные по прогрессивным ТП (штамповка, прессование из пластмасс, литье, порошковая металлургия и т.д.)	
			$D$ - общее число деталей (без учета нормализованного крепежа).	

**Исходные данные для расчета комплексного показателя радиотехнического устройства**

№	Вычисляемый показатель	Значение показателя	Название и обозначение параметра	Значение параметра
1	$K_{AM} = \frac{H_{AM}}{H_M}$		$H_{AM}$ - количество монтажных соединений ЭРЭ, которые предусматривается осуществить автоматизированным или механизированным способом	
			$H_M$ - общее количество монтажных соединений	
2	$K_{МП.ЭРЭ} = \frac{H_{МП.ЭРЭ}}{H_{П.ЭРЭ}}$		$H_{МП.ЭРЭ}$ - количество ЭРЭ в штуках, подготовка выводов которых осуществляется с помощью полуавтоматов и автоматов, в число их включаются ЭРЭ, не требующие специальной подготовки (патроны, реле, разъемы и т.д.)	
			$H_{П.ЭРЭ}$ - общее число ЭРЭ, которые должны подготавливаться к монтажу в соответствии с требованиями конструкторской документации	
3	$K_{ОСВ} = \frac{Д_{ТЗ}}{Д_T}$		$Д_{ТЗ}$ - количество типоразмеров заимствованных ДСЕ, ранее освоенных на предприятии	
			$Д_T$ - общее количество типоразмеров ДСЕ	
4	$K_{МС} = \frac{H_{Э.МС}}{H_{Э.МС} + H_{ИЭТ}}$		$H_{Э.МС}$ - общее число дискретных элементов, замененных микросхемами и микросборками	
			$H_{ЭРЭ}$ - общее число ЭРЭ, не вошедших в микросхемы	
5	$K_{ПОВ.ПП} = 1 - \frac{Д_{ТПП}}{Д_{ПП}}$		$Д_{ТПП}$ - число типоразмеров ПП в изделии	
			$Д_{ПП}$ - общее число ПП	
6	$K_{ТП} = \frac{Д_{ТП} + E_{ТП}}{П + E}$		$Д_{ТП}$ и $E_{ТП}$ - общее число деталей и сборочных единиц	

			(ДСЕ), изготавливаемых с применением типовых и групповых технологических процессов	
			$D$ и $E$ – общее число деталей и сборочных единиц, кроме крепежа	
7	$K_{APK} = \frac{H_{APK}}{H_{PK}}$		$H_{APK}$ - число операций контроля и настройки, выполняемых на полуавтоматических и автоматических стандах	
			$H_{PK}$ - общее количество операций контроля и настройки	

**Исходные данные для расчета комплексного показателя электромеханического устройства**

№	Вычисляемый показатель	Значение показателя	Название и обозначение параметра	Значение параметра
1	$K_{TЧ} = 1 - \frac{D_{TЧ}}{D_D}$		$D_{TЧ}$ - число деталей (без учета стандартных и крепежных), качество размеров которых не выше 10 (точность резьбовых поверхностей при расчете не учитывается)	
			$D_D$ - общее число деталей в изделии	
2	$K_{\Phi} = \frac{D_{ПР}}{D}$		$D_{ПР}$ - детали, изготовленные по прогрессивным ТП (штамповка, прессование из пластмасс, литье, порошковая металлургия и т.д.)	
			$D$ - общее число деталей (без учета нормализованного крепежа).	
3	$K_{СО} = 1 - \frac{D_M}{D}$		$D_M$ - число деталей, включая заимствованные и стандартные, требующие обработки снятием стружки	
			$D$ - общее число деталей (без учета нормализованного крепежа).	
4	$K_{ПОВ.ДСЕ} = 1 - \frac{D_T - E_T}{D + E}$		$D_T$ и $E_T$ - общее число типоразмеров деталей и сборочных единиц без учета нормализованного крепежа	
			$D$ и $E$ - общее число деталей и сборочных единиц	
5	$K_{П.СБ} = \frac{E_{П.СБ}}{E}$		$E_{П.СБ}$ - число сборочных единиц, допускающих параллельную сборку	
			$E$ - общее число сборочных единиц	
6	$K_{С.СБ} = 1 - \frac{E_{ТСЛ}}{E_T}$		$E_{ТСЛ}$ - число типоразмеров сборочных единиц, входящих в изделие и требующих регули-	

			ровки и полгонки в процессе сборки	
			$E_T$ - общее количество типоразмеров сборочных единиц.	
7	$K_{IM} = \frac{M}{M_{KM}}$		$M = M_{iE} + M_{jD}$ - масса изделия без учета комплектующих изделий и тары	
			$M_{jE}$ - масса $j$ -ой детали, являющейся составной частью изделия.	
			$M_{iE}$ - масса $i$ -ой сборочной единицы	
			$M_{KM}$ - масса конструкционного материала	

### Исходные данные для расчета комплексного показателя коммутационного устройства

№	Вычисляемый показатель	Значение показателя	Название и обозначение параметра	Значение параметра
1	$K_{ТЧ} = 1 - \frac{D_{ТЧ}}{D_D}$		$D_{ТЧ}$ - число деталей (без учета стандартных и крепежных), качество размеров которых не выше 10 (точность резьбовых поверхностей при расчете не учитывается)	
			$D_D$ - общее число деталей в изделии	
2	$K_{\Phi} = \frac{D_{ПР}}{D}$		$D_{ПР}$ - детали, изготовленные по прогрессивным ТП (штамповка, прессование из пластмасс, литье, порошковая металлургия и т.д.)	
			$D$ - общее число деталей (без учета нормализованного крепежа).	
3	$K_{ПОВ,М} = 1 - \left( \frac{D_{ММ}}{D_T} \right)$		$D_{ММ}$ - число маркосортаментов материалов	
			$D_T$ - количество типоразмеров оригинальных деталей	
			$E$ - общее число сборочных единиц	
4	$K_{С.СБ} = 1 - \frac{E_{ТСЛ}}{E_T}$		$E_{ТСЛ}$ - число типоразмеров сборочных единиц, входящих в изделие и требующих регулировки и полгонки в процессе сборки	
			$E_T$ - общее количество типоразмеров сборочных единиц.	
5	$K_{ИМ} = \frac{M}{M_{КМ}}$		$M = M_{iE} + M_{jD}$ - масса изделия без учета комплектующих изделий и тары	