

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

К.Н. Афонин

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Методические указания к практическим занятиям
для студентов направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»

Томск
2022

УДК 65.014.12
ББК 30.606
А 94

Рецензент:

Туев В.И., профессор, заведующий кафедрой
радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга, д-р техн. наук

Афонин, Кирилл Нильевич

А 94 Технологическая подготовка производства электронных средств: методические указания к практическим занятиям для студентов направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» / К.Н. Афонин. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022. – 25 с.

А 94 Целью дисциплины «Технологическая подготовка производства электронных средств» являются обучение студентов основам технологической подготовки производства электронных средств. Курс формирует у студентов понятия, знания и компетенции в областях организации современного производства радиоэлектронной аппаратуры, единой системы технологической подготовки производства, этапов разработки технологических процессов.

Пособие предназначено для студентов направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» (бакалавриат).

Одобрено на заседании кафедры РЭТЭМ протокол № 78 от 16.02.2022.

УДК 65.014.12
ББК 30.606

© Афонин К.Н., 2022
© Томск. гос. ун-т систем упр.
и радиоэлектроники

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Практическое задание «Определение типа производства».....	5
1.1 Задача № 1.....	5
1.2 Задача № 2.....	9
1.3 Задача № 3.....	12
2 Практическое задание «Маршрутная карта».....	15
3 Практическое задание «Технологическая документация».....	16
4 Практическое задание «Расчёт основных показателей технологичности»	17
5 Практическое задание «Расчёт показателей технологичности электронного блока».....	19
6 Практическое задание «Расчёт показателей технологичности электронных средств, характеризующих технологию изготовления изделий».....	23
Список рекомендуемой литературы	25

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Технологическая подготовка производства электронных средств» направлена на изучение студентами основ технологической подготовки производства электронных средств (ЭС). Основные задачи дисциплины:

- 1) изучение организации современного производства радиоэлектронной аппаратуры;
- 2) рассмотрение единой системы технологической подготовки производства;
- 3) освоение студентами основных понятий и определений в теории и практике производственных технологий;
- 4) изучение студентами этапов разработки технологических процессов.

Содержание дисциплины разделено на три раздела и представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание дисциплины

Название разделов дисциплины	Содержание разделов дисциплины
Организация производства электронных средств	Организация производства радиоэлектронной аппаратуры. Современное предприятие. Производственный процесс. Производственная структура предприятия. Формы специализации цехов. Основные понятия технологии производства аппаратуры. Технологические особенности радиоэлектронной аппаратуры. Типы производства. Технологические процессы в производстве электронных средств. Организация технологической подготовки производства.
Единая система технологической подготовки производства	Основные задачи и цели единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП). Этапы разработки технологических процессов. Требования ЕСТПП к технологическим процессам. Цели и задачи автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП). Средства технологического оснащения производства электронных средств.
Основы построения технологических систем	Основные понятия и определения в теории и практике производственных технологий. Иерархический подход в конструировании и технологии электронных средств. Особенности электронных средств. Технология электронных средств как сложная система. Основные направления развития технологии электронных средств. Построение технологического процесса в зависимости от типа производства. Классификация технологических процессов. Этапы разработки технологических процессов. Анализ и расчет технологичности конструкции изделия. Устойчивость технологического процесса. Структура жизненного цикла электронных средств длительного функционирования.

1 Практическое задание «Определение типа производства»

Цель работы

Закрепление знаний по разделу «Организация производства электронных средств. Типы производства» и овладение методиками определения типа производства.

Форма проведения

Решение практических задач.

1.1 Задача № 1

Теоретические сведения

Согласно ГОСТ 3.1119-83 [1], ГОСТ 14.004-83 [2] ЕСТД и РД 50-174-80 [3] ЕСТПП одной из характеристик типа производства, т. е. классификационной категории производства, выделяемой по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности, объема выпуска изделий является коэффициент закрепления операций $K_{з.о}$.

$K_{з.о}$ показывает отношение числа всех различных технологических операций, выполняемых или подлежащих выполнению подразделением в течение месяца, к числу рабочих мест в одной смене. Таким образом, $K_{з.о}$ характеризует число различных технологических операций, приходящихся в среднем на одно рабочее место участка за месяц. Он также характеризует среднюю частоту смены технологических операций на производственном участке. Например, если $K_{з.о} = 22$, а количество рабочих дней в месяц 22, то ежедневно происходит смена операций на каждом рабочем месте участка. Таким образом, $K_{з.о}$ характеризует и время непрерывной работы по выполнению операций на всех деталях производственной партии.

Изменение времени непрерывного выполнения одной работы влияет на специализированные навыки рабочих, трудоемкость обработки и оплату труда рабочих подразделения, затраты на переналадки, периодичность в обслуживании со стороны мастера, планировщика, наладчика и оплату простоев рабочих мест в ожидании обслуживания, на затраты по планированию и учету движения продукции. Все эти величины в рублях показывают изменение элементов себестоимости выпускаемой продукции, непосредственно зависящих от размера величины $K_{з.о}$.

Так как величина $K_{з.о}$ отражает частоту смены различных технологических операций и связанную с этим периодичность в первую очередь обслуживания рабочего информационными и вещественными элементами производства, то $K_{з.о}$ оценивается применительно к явочному числу рабочих подразделения из расчета на одну смену:

$$K_{з.о} = \frac{\sum P_{oi}}{\sum P_{яi}} = \frac{K_{в} \cdot \Phi \cdot \sum P_{oi}}{\sum N_i \cdot T_i}, \quad (1)$$

где $\sum P_{oi}$ – суммарное число различных операций;

$\sum P_{яi}$ – явочное число рабочих подразделения, выполняющих различные операции;

$K_{в}$ – коэффициент выполнения норм;

Φ – месячный фонд времени рабочего при работе в одну смену;

$\sum N_i \cdot T_i$ – суммарная трудоемкость программы выпуска;

N_i – программа выпуска каждой i -й позиции номенклатуры;

T_i – трудоемкость i -й позиции.

При учебном технологическом проектировании рекомендуется условное число однотипных операций P_{oi} , выполняемых на одном станке в течение месяца при работе в одну смену, определять по формуле:

$$\Pi_{0i} = \frac{\eta_n}{\eta_3}, \quad (2)$$

где η_n – планируемый коэффициент загрузки станка (нормативный) всеми закрепленными за ним одностипными операциями. Его величину при расчетах принимают равной 0,8;

η_3 – коэффициент загрузки станка одной, заданной для проектирования операцией:

$$\eta_3 = \frac{T_{шт-к} \cdot N_m}{60 \cdot F_m \cdot K_b}, \quad (3)$$

где K_b – коэффициент выполнения норм, равный 1,3;

$T_{шт-к}$ – штучно-калькуляционное время, необходимое для выполнения операций, мин;

N_m – месячная программа выпуска данной детали при работе в одну смену, шт.:

$$N_m = \frac{N_r}{2 \cdot 12} = \frac{N_r}{24}, \quad (4)$$

где N_r – годовой объем выпуска заданной детали, шт./г.;

F_m – месячный фонд времени работы оборудования в одну смену, ч:

$$F_m = \frac{4055}{2 \cdot 12} = 169 \text{ ч.} \quad (5)$$

Здесь в знаменателе 2 – означает число смен, 12 – число месяцев в году. Суммарное число различных операций за месяц по участку из расчета на одного сменного мастера определяется по формуле:

$$\Sigma \Pi_{0i} = \Pi_{01} + \Pi_{02} + \Pi_{03} + \dots + \Pi_{0n}, \quad (6)$$

где 1, 2, ..., n – номера рабочих мест.

Число рабочих на один станок, загруженный до $\eta_n = 0,8$ при работе в одну смену, определяется по формуле:

$$P_{яi} = \frac{N_i \cdot T_i}{K_b \cdot \Phi \cdot 60} = \frac{\Pi_{0i} \cdot N_m \cdot T_{шт-ki}}{K_b \cdot \Phi \cdot 60}, \quad (7)$$

где $N_i = \Pi_{0i} \cdot N_m$ – приведенный объем выпуска деталей, шт./мес.;

$T_i = T_{шт-ki}$ – штучно-калькуляционное время на выполнение заданной операции, мин;

Φ – месячный фонд времени рабочего при 22 рабочих днях в месяц, ч ($\Phi = 22 \cdot 8 = 176$ ч).

Явочное число рабочих участка при работе в одну смену определяется суммированием значений $P_{яi}$:

$$\Sigma P_{я_i} = P_{я_1} + P_{я_2} + P_{я_3} + \dots + P_{я_n} \quad (8)$$

Оплата затрат подготовительно-заключительного времени может быть подсчитана по формуле в рублях:

$$З_{п.з.} = 12T_{п.з.} \cdot \Sigma P_{я_i} \cdot C_{ц} \cdot K_{з.о.}, \quad (9)$$

где $T_{п.з.}$ – среднее подготовительное-заключительное время операции, ч;

$\Sigma P_{я_i}$ – явочное число рабочих участка, приходящихся па одного мастера, чел.;

$C_{ц}$ – оплата одного нормо-часа с учетом дополнительной зарплаты и отчислений на соцстрахование, руб.

В данной работе $T_{п.з.}$ следует принимать равным 0,25 ч, а оплату одного нормо-часа $C_{ц}$ – равной 598 руб. (часовая тарифная ставка станочника 3-го разряда).

Оборотные средства в незавершенном производстве рассчитываются по формуле, руб.:

$$H_o = \frac{E_n \cdot 3 \cdot n \left(C_3 + \frac{C}{N_r} \cdot 0.5 \right)}{K_{з.о.}}, \quad (10)$$

где 3 – число партий деталей, приходящееся в среднем на одно рабочее место, равное трем (одна партия в ожидании обработки, вторая – на станке в работе, третья – на транспортировке либо на контроле);

C_3 – стоимость заготовки, руб.;

C – себестоимость механической обработки годового выпуска деталей одного наименования, руб.;

0,5 – коэффициент нарастания затрат;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_n = 0,15$);

n – размер партии деталей, обрабатываемых на одной наладке при 12 запусках партий в год, шт.:

$$n = \frac{N_r}{12}. \quad (11)$$

Задание

Используя данные, представленные в таблице 1, определить для каждой из двух деталей:

- 1) число операций ΣP_{oi} , выполняемых на участке в течение месяца при односменной работе;
- 2) явочное число рабочих на участке на одну смену $\Sigma P_{я_i}$;
- 3) величину $K_{з.о.}$ и по его значению определить тип производства (см. таблицу 2);
- 4) оплату затрат подготовительно-заключительного времени $З_{п.з.}$;
- 5) стоимость запасов незавершенного производства H_o ;
- 6) проанализировать полученные результаты и сделать выводы о влиянии величины $K_{з.о.}$ на изучаемые в работе элементы себестоимости выпускаемой продукции;
- 7) оформить отчет о проделанной работе.

Таблица 1 – Исходные данные

№ варианта	№ деталей	Кол-во операций	Т _{шт-к} на операцию №, мин.						N _г	С _з , тыс. руб.	С, мил. Руб.
			1	2	3	4	5	6			
1	1	5	10	5	8	9	11	-	4000	2,3	2,0
	2	5	11	5	6	2	6	-	15000	1,9	1,9
2	3	4	3	7	8	5	-	-	2000	1,1	5,5
	4	4	5	8	9	6	-	-	8000	1,15	23,0
3	5	5	7	15	12	10	8	-	1000	1,2	3,0
	6	5	6	7	8	5	6	-	9000	1,25	28,125
4	7	6	3	4	3	5	2	4	12000	1,25	37,5
	8	6	6	7	7	5	6	4	2000	1,2	6,0
5	9	5	5	6	7	6	7	-	5000	0,55	6,875
	10	5	6	8	9	6	7	-	15000	0,5	18,75
6	11	4	3	4	6	5	-	-	7000	0,45	7,0
	12	4	5	6	7	8	-	-	1500	0,4	1,5
7	13	5	3	4	5	4	6	-	3500	0,62	5,425
	14	5	7	6	8	5	7	-	8000	0,61	12,2
8	15	6	6	7	5	8	5	4	1500	0,7	2,625
	16	6	8	9	10	7	6	9	5000	0,71	8,875
9	17	5	8	6	5	7	7	-	15000	0,81	30,375
	18	5	9	8	6	5	7	-	6000	0,8	12,0
10	19	4	4	5	5	6	-	-	2000	0,95	4,75
	20	4	8	10	9	7	-	-	5000	0,94	11,75
11	21	5	3	4	3	5	6	-	2500	0,91	5,687
	22	5	6	7	5	6	4	-	7500	0,92	17,25
12	23	6	8	7	6	7	8	9	8000	1,3	26,0
	24	6	4	5	4	6	5	7	3000	1,31	9,825
13	25	5	6	8	7	5	4	-	11000	1,15	31,625
	26	5	9	8	7	8	10	-	1000	1,2	3,0
14	27	5	5	4	6	7	3	-	9000	0,75	16,875
	28	5	3	4	3	5	4	-	400	0,76	7,6
15	29	5	2	4	5	7	11	-	1000	1,7	12,643
	30	5	3	6	7	8	3	-	15000	2,8	2,076
16	31	6	2	7	12	13	15	3	2000	5,6	1,093
	32	6	4	6	7	13	10	6	25000	1,6	2,59
17	33	4	4	7	8	9	-	-	300	2,9	12,0
	34	4	5	6	8	12	-	-	23000	3,0	1,586
18	35	5	3	4	7	4	8	-	1200	2,6	25,82
	36	5	9	3	8	9	5	-	24000	6,1	48,00
19	37	6	5	3	2	9	6	2	250	3,8	12,68
	38	6	9	4	3	7	2	5	10000	2,9	0,54
20	39	5	6	5	8	7	9	-	3000	1,1	7,875
	40	5	4	7	10	11	5	-	10000	1,12	25,0

Таблица 2 – Типы производства в зависимости от величины $K_{з.о.}$.

№ п/п	Величина $K_{з.о.}$	Тип производства
1	До 1,0 включительно	Массовое
2	Свыше 1,0 до 10,0 включительно	Крупносерийное
3	Свыше 10,0 до 20,0 включительно	Среднесерийное
4	Свыше 20,0 до 40,0 включительно	Мелкосерийное
5	Свыше 40,0	Единичное

Контрольные вопросы

- 1) Какой период времени принимается в расчет при определении $K_{з.о.}$?
- 2) Для каких условий работы (в одну или две смены) рассчитывается $K_{з.о.}$?
- 3) Как рассчитывается коэффициент загрузки станка η_3 ?
- 4) Что вы понимаете под термином «нормативный коэффициент загрузки станка», и какова его величина в данной работе?
- 5) Каким образом в работе определяется количество операций Π_{oi} , выполняемых на станке в течение месяца?
- 6) Как определяется число операций Π_{oi} , выполняемых в течение месяца на участке?

1.2 Задача № 2

Теоретические сведения

В соответствие с известными методиками расчета коэффициента закрепления операций $K_{з.о.}$ для действующего цеха (участка):

$$K_{з.о.} = \sum \Pi_o / P_{я} = K_B \cdot \Phi \cdot \frac{\sum \Pi_o}{\sum N_i \cdot T_i}, \quad (12)$$

где $\sum \Pi_o$ – суммарное число различных операций;

$P_{я}$ – явочное число рабочих подразделения, выполняющих различные операции;

K_B – коэффициент выполнения норм, $K_B = 1,3$;

Φ – месячный фонд времени рабочего при работе в одну смену, ч.;

$\sum N_i T_i$ – суммарная трудоемкость программы выпуска, ч;

T_i – трудоемкость i -ой позиции, ч;

N_i – программа выпуска каждой i -ой позиции номенклатуры.

При данном технологическом проектировании при заданной годовой программе выпуска N_T , шт., и известной трудоемкости трудовых операций технологического процесса $T_{ш.к}$, мин, явочное число рабочих $P_{я}$ может быть принятым равным числу рабочих мест $P_{р.м.}$, в тоже время условное число однотипных операций Π_{oi} , выполняемых на одном рабочем месте, может быть определено как:

$$\Pi_{oi} = \eta_n / \eta_{ф}. \quad (13)$$

где η_n – нормативный коэффициент загрузки рабочего места всеми закрепленными за ним операциями;

$\eta_{ф}$ – фактический коэффициент загрузки данной операцией.

Рассчитывается фактический коэффициент загрузки по формуле:

$$\eta_{\Phi} = \frac{T_{ш.к.} \cdot N_{Г}}{60 F_{г} \cdot K_{в}}, \quad (14)$$

где $K_{в}$ – коэффициент выполнения норм;

$F_{д}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч.

Приняв по справочным данным $K_{в} = 1,3$; $\eta_{н} = 0,8$ и $F_{д} = 40,15$ ч, получим:

$$П_{о. i} = \frac{60 \eta_{н} \cdot F_{д} \cdot K_{в}}{N_{Г} \cdot T_{ш.к.}}, \quad (15)$$

$$K_{з.о} = \frac{250536}{N_{Г} \cdot P_{р.м}} \sum_{i}^{D_{р.ж}} \frac{1}{T_{ш.к. i}}. \quad (16)$$

Порядок выполнения работы

По имеющимся данным установить тип производства, который зависит от заданной программы выпуска деталей и длительности выполнения основных технологических операций, а именно:

- 1) Согласно варианту задания, выбрать исходные данные по таблице 3.
- 2) Определить условное число однотипных операций $П_{оi}$, выполняемых на каждом рабочем месте.
- 3) Вычислить коэффициент закрепления операций $K_{з.о.}$.
- 4) Найти тип производства при реализации технологических процессов изготовления двух деталей, используя исходные данные в таблице 3.
- 5) Оформить отчет о проделанной работе.

Таблица 3 – Исходные данные

№ варианта	№ деталей	Т _{шт-к} на операцию №, мин.						N _г , шт.
		005	010	015	020	025	030	
1	1	3,3	4,8	4,6	5,9	6,3	7,5	4500
	2	2,1	5,3	8,8	7,5	1,8	11,2	10 000
2	3	4,7	7,8	5,4	10,3	15,2	-	2500
	4	5,2	4,3	12,4	4,8	1,2	3,8	7500
3	5	1,2	0,8	2,1	2,8	1,9	0,7	15 000
	6	12,0	32,3	15,6	10,3	9,2	-	1500
4	7	15,0	42,0	11,3	7,4	-	-	1000
	8	0,9	1,2	7,1	3,4	5,3	-	10 000
5	9	3,0	4,5	6,3	5,4	1,2	1,7	7500
	10	1,2	2,1	0,9	1,8	3,2	-	30 000
6	11	5,0	6,2	4,2	7,8	8,3	5,4	1500
	12	3,8	4,3	12,0	6,3	-	-	3800
7	13	7,0	6,5	8,3	5,4	7,8	2,4	10 000
	14	4,0	7,0	2,2	3,5	4,7	-	50 000
8	15	2,7	1,8	3,9	4,6	6,6	-	1500
	16	7,0	8,0	9,0	10,0	7,5	8,5	5000
9	17	13,5	6,8	7,5	14,0	3,5	-	1500
	18	3,0	4,5	2,9	7,4	1,8	-	12 000

Продолжение таблицы 3

№ варианта	№ деталей	Т _{шт-к} на операцию №, мин.						N _Г , шт.
		005	010	015	020	025	030	
10	19	9,5	36,0	14,0	22,0	-	-	4000
	20	1,8	6,7	3,8	12,0	6,1	5,3	25 000
11	21	6,5	4,3	11,2	7,8	1,2	3,4	1000
	22	0,8	1,7	1,9	0,6	1,4	3,2	40 000
12	23	3,6	5,2	2,8	8,3	4,2	-	4000
	24	26,0	14,0	43,0	8,0	-	-	1000
13	25	3,8	4,9	4,8	7,9	8,3	9,5	5700
	26	2,1	5,3	8,8	7,5	1,8	11,2	11 000
14	27	4,9	7,8	5,4	10,3	15,2	-	2600
	28	5,2	4,3	12,4	4,8	1,2	3,8	7800
15	29	1,2	0,8	2,1	2,8	1,9	0,7	14 000
	30	12,0	32,3	15,6	10,3	9,2	-	1800
16	31	15,2	42,6	11,3	7,4	-	-	1100
	32	0,9	1,2	7,1	3,4	5,3	-	9 000
17	33	3,0	4,5	6,3	5,4	1,2	1,7	7400
	34	1,2	2,1	0,9	1,8	3,2	-	20 000
18	35	5,0	6,4	4,2	7,8	8,3	5,4	1700
	36	3,8	4,3	12,1	6,3	-	-	3600
19	37	7,0	6,5	8,8	5,4	7,8	2,4	11 000
	38	4,0	7,0	2,2	3,5	4,7	-	40 000
20	39	2,7	1,8	3,8	4,6	6,6	-	1700
	40	7,3	8,2	9,8	10,8	7,5	8,5	6000

Пример выполнения практического задания

Исходные данные:

Штучно-калькуляционное время $T_{ш.к.}$ на операцию:

005 составляет 3,6 мин.

010 – 5,2 мин.

015 – 2,8 мин.

020 – 8,3 мин.

025 – 4,2 мин.

Годовая программа выпуска N_G равна 3 000 шт.

Определить

Условное число однотипных операций P_{oi} , выполняемых на каждом рабочем месте, коэффициент закрепления операций $K_{з.о.}$ и тип производства при реализации технологических процессов изготовления двух деталей, используя исходные данные из таблицы 3.

Решение

3) Определяем число однотипных операций P_{oi} :

$$P_{01} = 250536 / (3000 \times 3,6) = 23,2;$$

$$P_{02} = 16,1;$$

$$P_{03} = 29,8;$$

$$P_{04} = 10,1;$$

$$P_{05} = 19,9.$$

2) Вычисляем коэффициент закрепления операций по формуле (16):

$$K_{з.о.} = 250536 / 3000 \times 5 \times (1/(3,6) + 1/(5,2) + 1/(2,8) + 1/(8,3) + 1/(4,2)) = 19,8.$$

3. Найдем тип производства в соответствии с условием:

$$K_{з.о.} < 20$$

Следовательно, производство является среднесерийным.

1.3 Задача № 3

Теоретические сведения

Характер технологического процесса (ТП) во многом зависит от типа производства, определяющего построение и степень детализации разработки технологических процессов. Различают: единичное, серийное (мелко-, средне- и крупносерийное) и массовое производства.

В условиях единичного производства на рабочих местах обрабатывают различные детали. Технологические операции при этом максимально концентрированы, выполняются квалифицированными рабочими с применением точного универсального оборудования.

При серийном производстве изделия выпускаются партиями. На рабочих местах выполняется несколько периодически повторяющихся операций. Характер построения ТП зависит от объема выпуска.

При массовом производстве на рабочем месте выполняется одна и та же операция. Используются высокопроизводительные специальные станки, автоматы, СТО и точные заготовки. ТП строятся по принципу непрерывного потока. Цикл изготовления минимальный, себестоимость продукции наименьшая по сравнению с другими типами производства.

Тип производства определяется коэффициентом закрепления операций:

$$K_{з.о.} = O / P, \quad (17)$$

где O – количество операций ТП, подлежащих выполнению в течение месяца;

P – число рабочих мест, необходимых для их выполнения.

$$P = \frac{N \sum_{i=1}^k T_{шт.i}}{60 \cdot k \cdot \Phi_{д}}, \quad (18)$$

где N – годовой объем выпуска;

$\sum T_{шт.i}$ – трудоемкость изготовления изделия;

$T_{шт.i}$ – норма штучного времени i -й операции;

$\Phi_{д} = 2070$ ч – действительный годовой фонд рабочего времени;

k – коэффициент выполнения норм времени.

В серийном производстве объем выпуска определяет темп выпуска:

$$t = 60 \times \Phi_{д} / N \quad (19)$$

Целесообразно, чтобы длительность операций была равна или кратна t . Для массового производства $K_{з.о.} = 1$, для крупносерийного $1 < K_{з.о.} \leq 10$, для серийного $10 < K_{з.о.} \leq 20$, для мелкосерийного $20 < K_{з.о.} \leq 40$, для единичного $K_{з.о.} > 40$ и верхний предел не регламентируется.

До разработки ТП реальное значение $K_{з.о.}$ неизвестно. При определении типа производства учитывают либо заданную (плановую) трудоемкость, либо ориентировочную, оцененную на начальных стадиях проектирования ТП. Тогда

$$K_{з.о.} = O \times t / \sum T_{шт. i} = t / T_{шт. i}, \quad (20)$$

где $T_{шт. i}$ – средняя норма штучного времени ($T_{шт.}$ определяющей операции данного ТП);
 t – темп выпуска.

Пример 1

Сборку изделия выполняют за 7 технологических операций, общая трудоемкость которых 9,88 мин. Объем выпуска изделий $N = 60\,000$ шт. в год. Определить тип производства.

Решение

При односменной работе и коэффициенте выполнения нормы $k = 1$ необходимое число рабочих мест:

$$P = N \cdot \sum T_{шт. i} / (60 \cdot k \cdot \Phi_d) = (60000 \cdot 9,88) / (60 \cdot 1 \cdot 2070) = 4,8 \approx 5$$

$$K_{з.о.} = O / P = 7/5 = 1,4$$

Производство крупносерийное.

Пример 2

Деталь изготавливают штамповкой за одну операцию. Норма штучного времени $T_{шт} = 0,2$ мин. Определить тип производства при объеме выпуска $N = 50000$ шт. в год.

Решение

Такт выпуска деталей при односменной работе

$$t = 60 \times \Phi_d / N = (60 \times 2070) / 50\,000 = 2,5 \text{ мин.}$$

$$K_{з.о.} = t / T_{шт} = 2,5/0,2 = 12,5$$

Производство среднесерийное.

Пример 3

Колодка разъема изготавливается из термопласта АГ-4в. Объем выпуска $N = 60\,000$ шт. в год. Максимальный линейный размер детали $l_{max} = 12$ мм. Определить тип производства при односменной работе.

Решение

Наиболее экономичный способ изготовления изделий из АГ-4в – литьевое прессование в стационарных многогнездных пресс-формах без арматуры. Предположим, что используется 6-гнездная пресс-форма. Такт выпуска деталей

$$t = 60 \Phi_d / N = (60 \cdot 2070) / 60000 = 2,07 \text{ мин.}$$

Норма штучного времени на операции прессования

$$T_{шт} = T_o + T_b + T_{орг} = T_o + T_b + k(T_o + T_b), \quad (21)$$

где T_o – основное технологическое время, равное выдержке материала в пресс-форме. Из технологических справочников для термопласта АГ-4в берем выдержку 1 мин на 1 мм толщины детали. Так как $l_{max} = 12$ мм, $T_o = 12$ мин, то на одну деталь при шести гнездах: $T_o = 12/6 = 2$ мин;

T_v – вспомогательное время (загрузка загрузочной камеры пресс-материалом, включение и выключение давления, удаление детали, очистка пресс-формы, удаление литника и др.);

$T_{орг}$ – время организационного обслуживания рабочего места.

Из нормативно-технической документации: $T_v = 0,592$ мин; $T_{орг} = 7,5\%$ ($T_0 + T_v$) = 2,79 мин.

$$K_{з.о.} = t / T_{шт} = 2,07 / 2,79 \approx 1$$

Производство массовое.

Порядок выполнения работы

- 1) Вычислить коэффициент закрепления операций $K_{з.о.}$ для вариантов технологических процессов, приведенных в таблице 4.
- 2) Определить тип производства.
- 3) Оформить отчет о проделанной работе.

Таблица 4 – Исходные данные задачи № 3

№ варианта ТП	Объем выпуска, тыс. шт. в год	Трудоемкость изготовления, мин	Кол-во операций в ТП	Число смен	Коэффициент выполнения нормы	$T_{шт}$, мин
1	30	-	-	1	1,00	0,30
2	500	250	150	1	1,00	-
3	0,2	-	-	1	1,00	1,50
4	150	-	-	1	0,95	2,00
5	12	-	-	1	0,95	0,50
6	1000	120	17	2	0,95	-
7	0,8	35	54	2	1,05	-
8	1,2	40	80	2	1,05	-
9	500	180	12	2	1,00	-
10	5	3000	14	2	0,95	-
11	1000	3600	22	3	1,00	-
12	5	3600	23	3	1,00	-
13	150	250	70	2	1,05	-
14	200	-	-	1	1,20	14,00
15	50	190	90	3	0,95	-
16	80	-	-	3	0,95	1,50
17	750	-	-	1	1,05	20,00
18	270	1800	85	1	1,10	-
19	120	-	-	2	1,00	8,00
20	180	-	-	1	1,00	1,45

Действительный годовой фонд рабочего времени F_d равен:

- при односменной работе 2070 ч;
- при двухсменной работе 4140 ч;
- при трехсменной работе 6210 ч.

2 Практическое задание «Маршрутная карта»

Цель работы

Закрепление знаний по разделам «Технологические процессы в производстве электронных средств. Организация технологической подготовки производства» и овладение навыками разработки технологических документов в соответствии с требованиями единой системы технологической документации (ЕСТД).

Форма проведения

Изучение действующих стандартов ЕСТД, ответы на контрольные вопросы и оформление маршрутной карты на технологический процесс.

Задание

1) Ознакомиться с текстом ГОСТ 3.1118-82 «Формы и правила оформления маршрутных карт» используя «Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации» – docs.cntd.ru.

2) Ответить на контрольные вопросы.

3) Оформить маршрутную карту на технологический процесс. Вариант технологического процесса получить у преподавателя.

Контрольные вопросы

- 1) Для чего используется маршрутная карта (МК)?
- 2) Сколько существует форм для оформления МК?
- 3) Какие формы используются для операционного описания ТП?
- 4) Какие формы используются для маршрутного описания ТП?
- 5) Что такое служебный символ?
- 6) Возможно ли не проставлять служебный символ? Если да, то в каких случаях?
- 7) Что обозначают символы «В», «Д», «О»?
- 8) В чём различие между использованием символов «К» и «Л»?
- 9) Какой служебный символ применяется в МК для обозначения технологической оснастки?
- 10) Существует ли правило очередности заполнения служебных символов?
- 11) Что такое графы форм МК?

3 Практическое задание «Технологическая документация»

Цель работы

Закрепление знаний по разделам «Технологические процессы в производстве электронных средств. Организация технологической подготовки производства. Основы построения технологических систем» и овладение навыками разработки технологических документов в соответствии с требованиями единой системы технологической документации (ЕСТД).

Форма проведения

Изучение действующих стандартов ЕСТД, подготовка доклада с презентацией по выбранной теме, оформление технологического документа в соответствии с вариантом индивидуального задания.

Задание

- 1) Выбрать технологический документ из списка.
- 2) Используя «Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации» – docs.cntd.ru найти действующий стандарт ЕСТД на выбранный технологический документ.
- 3) Внимательно ознакомиться с текстом стандарта.
- 4) Ознакомиться с требованиями к докладу и оформить презентацию по выбранному технологическому документу.
- 5) Оформить технологический документ на производственный процесс. Вариант производственного процесса получить у преподавателя.

Перечень тем для выступления (доклада) на занятии

- 1) Титульный лист (ТЛ)
- 2) Маршрутная карта (МК)
- 3) Операционная карта (ОК)
- 4) Карта типового ТП (КТТП)
- 5) Карта типовой операции (КТО)
- 6) Карта эскизов (КЭ)
- 7) Технологическая инструкция (ТИ)
- 8) Карта технологического процесса (КТП)
- 9) Комплектовочная карта (КК)
- 10) Технологическая ведомость (ТВ)
- 11) Ведомость оснастки (ВО)
- 12) Ведомость материалов (ВМ)
- 13) Ведомость деталей (сборочных единиц) (ВТП)
- 14) Ведомость технологических документов (ВТД)
- 15) Ведомость сборки изделия (ВСИ)
- 16) Ведомость удельных норм расхода материалов (ВУН)
- 17) Техничко-нормировочная карта (ТНК)
- 18) Карта наладки (КН)
- 19) Ведомость применяемости (ВП)
- 20) Ведомость дефектации (ВД)

Требования к докладам:

- презентация 10-12 слайдов;
- отразить назначение документа, описать его содержание, типовые формы и правила оформления, привести примеры;
- уметь пояснять информацию в примерах.

4 Практическое задание «Расчёт основных показателей технологичности»

Цель работы

Закрепление знаний по разделам «Единая система технологической подготовки производства. Основы построения технологических систем» и овладение навыками анализа технологичности электронного средства в соответствии со стандартами единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП).

Форма проведения

Решение практических задач.

Теоретические сведения

Технологичность имеет качественные и количественные показатели. Качественные показатели используют на ранних этапах конструирования и конструкторско-технологической обработки конструкторской документации (КД), когда количественная оценка технологичности затруднена.

Количественная оценка технологичности конструкции включает:

- 1) базовые (исходные) значения показателей технологичности конструкции, являющиеся предельными нормативами технологичности, обязательными при разработке ЭС;
- 2) значения показателей технологичности, достигнутые при разработке изделия;
- 3) показатели уровня технологичности конструкции.

Базовые значения указываются в ТЗ на разработку, а по отдельным видам ЭС (номенклатура устанавливается по отраслям) – в ОСТ.

В качестве основных, рекомендуемых ГОСТ 14.201-83 количественных показателей технологичности ЭС, выступают [1]:

- 1) Трудоемкость изготовления ЭС:

$$T_{\text{и}} = \sum T_{ie} + \sum T_{id} n_{id} + T_{\text{сб}} + T_{\text{ис}}, \quad (22)$$

где T_{ie} – трудоемкость изготовления i -й сборочной единицы;

T_{id} – трудоемкость изготовления i -й детали, не вошедшей в состав при подсчете T_{ie} ;

n_{id} – число i -х деталей;

$T_{\text{сб}}$ – трудоемкость общей сборки изделия;

$T_{\text{ис}}$ – трудоемкость испытания.

- 2) Уровень технологичности конструкции ЭС по трудоемкости:

$$K_{\text{ут}} = 1 - T_{\text{и}}/T_{\text{б.и}}, \quad (23)$$

где $T_{\text{и}}$ – расчетная трудоемкость изготовления ЭС;

$T_{\text{б.и}}$ – базовый показатель трудоемкости изготовления ЭС.

- 3) Технологическая себестоимость ЭС:

$$C_{\text{и}} = C_{\text{м}} + C_{\text{з}} + C_{\text{цр}}, \quad (24)$$

где $C_{\text{м}}$ – стоимость материалов, заготовок, затраченных на изготовление ЭС, руб.;

$C_{\text{з}}$ – заработная плата производственных рабочих с начислениями, руб.;

$C_{цр}$ – цеховые расходы, руб.

- 4) Уровень технологичности конструкции ЭС по себестоимости изготовления:

$$K_{yc} = 1 - C_{и}/C_{б.и}, \quad (25)$$

где $C_{и}$ – рассчитанная технологическая себестоимость изготовления ЭС, руб.;
 $C_{б.и}$ – базовый показатель трудоемкости изготовления, руб.

- 5) Комплексный показатель $K_{у.тр}$ уровня технологичности конструкции по трудоемкости изготовления ЭС:

$$K_{у.тр} = \frac{T_{и} K_{сл}}{T_{б.и} K_{сн.тр}}, \quad (27)$$

где $T_{и}$ – показатель трудоемкости изготовления ЭС;
 $K_{сл}$ – коэффициент сложности конструкции ЭС по сравнению с аналогом;
 $T_{б.и}$ – базовый показатель трудоемкости изделия-аналога;
 $K_{сн.тр}$ – коэффициент снижения трудоемкости.

Всего в ГОСТ 14.201-73 предусмотрены 22 показателя технологичности в зависимости от вида изделия и стадии разработки конструкторской документации. Номенклатура показателей для однотипных изделий с учетом их конструктивных особенностей устанавливается отраслевыми стандартами. Количество показателей должно быть минимальным, но достаточным для оценки технологичности конструкции изделия.

Задание

- 1) Ознакомиться с теоретическим материалом.
- 2) Получить данные для расчётов у преподавателя.
- 3) Рассчитать показатели технологичности.
- 4) Оформить отчёт о проделанной работе.

5 Практическое задание «Расчёт показателей технологичности электронного блока»

Цель работы

Закрепление знаний по разделам «Единая система технологической подготовки производства. Основы построения технологических систем» и овладение навыками анализа технологичности электронного средства в соответствии со стандартами единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП).

Форма проведения

Решение практических задач.

Теоретические сведения

На предприятиях радиоэлектронного приборостроения для оценки технологичности конструкции изделия действует отраслевая система оценки технологичности изделия (ОСОТП), согласно которой оценка технологичности ЭС определяется по комплексному показателю технологичности и трудоемкости изготовления изделия. В расчёт входят базовые показатели в соответствии со стадией проектирования (таблица 5).

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i}, \quad (26)$$

где k_i – расчетный базовый показатель технологичности конструкции (детали, сборочной единицы ЭС);

φ_i – коэффициент базовой значимости базового показателя;

i – порядковый номер показателя;

n – число базовых показателей, определяемых на данной стадии разработки изделия.

Формулы для расчёта базовых показателей:

- 1) Коэффициент использования микросхем и микросборок в блоке:

$$K_{и.мс} = \frac{H_{мс}}{H_{мс} + H_{эрэ}} \quad (27)$$

- 2) Коэффициент механизации и автоматизации монтажа:

$$K_{а.м} = \frac{H_{ам}}{H_m} \quad (28)$$

- 3) Коэффициент механизации подготовки ЭРЭ:

$$K_{м.п.эрэ} = \frac{H_{мпэрэ}}{H_{тэрэ}} \quad (29)$$

- 4) Коэффициент механизации контроля и настройки:

$$K_{м.к.н.} = \frac{H_{мкн}}{H_{кн}} \quad (30)$$

- 5) Коэффициент повторяемости ЭРЭ:

$$K_{\text{пов. ЭРЭ}} = 1 - \frac{H_{\text{тЭРЭ}}}{H_{\text{ЭРЭ}}} \quad (31)$$

6) Коэффициент применяемости ЭРЭ:

$$K_{\text{п. ЭРЭ}} = 1 - \frac{H_{\text{т.оп ЭРЭ}}}{H_{\text{тЭРЭ}}} \quad (32)$$

7) Коэффициент прогрессивности формообразования деталей:

$$K_{\phi} = \frac{D_{\text{пр}}}{D} \quad (33)$$

Таблица 5 – Состав базовых показателей технологичности электронных блоков

Порядковый номер в ранжированной последовательности	Показатель технологичности	Обозначение	φ_i	Эскизный проект	Технический проект	Рабочая документация		
						Опытного образца	Установочной серии	Серийного производства
1	Коэффициент использования микросхем и микросборок в блоке	$K_{\text{и.мс}}$	1,000	п	п	о	о	о
2	Коэффициент автоматизации и механизации монтажа	$K_{\text{а.м}}$	1,000	н	п	о	о	о
3	Коэффициент механизации подготовки ЭРЭ	$K_{\text{м.п ЭРЭ}}$	0,750	п	о	о	о	о
4	Коэффициент механизации контроля и настройки	$K_{\text{м.к.н}}$	0,500	н	п	о	о	о
5	Коэффициент повторяемости ЭРЭ	$K_{\text{пов.ЭРЭ}}$	0,310	п	п	о	о	о
6	Коэффициент применяемости ЭРЭ	$K_{\text{п.ЭРЭ}}$	0,187	п	п	о	о	о
7	Коэффициент прогрессивности формообразования деталей	K_{ϕ}	0,110	н	н	о	о	о

Примечание. Приняты следующие обозначения показателей: О – определяется; П – приближенно определяется; Н – не определяется

Для удобства исходные данные для расчёта помещают в таблицу (таблица 6).

Таблица 6 – Исходные данные для расчета показателей технологичности конструкции электронного блока

№ п/п	Исходные данные	Обозначение	Значение показателя
1	Количество монтажных соединений, которые могут осуществляться или осуществляются механизированным или автоматизированным способом	$H_{ам}$	
2	Общее количество монтажных соединений	$H_{м}$	
3	Общее количество микросхем и микросборок в изделии, шт	$H_{мс}$	
4	Общее количество ЭРЭ, шт	$H_{ЭРЭ}$	
5	Количество ЭРЭ в шт., подготовка которых к монтажу может осуществляться или осуществляются механизированным или автоматизированным способом. В число указанных включаются ЭРЭ не требующие специальной подготовки к монтажу (реле, разъёмы и.п.)	$H_{мпЭРЭ}$	
6	Количество операций контроля и настройки, которые можно осуществлять механизированным или автоматизированным способом. В число указанных операций включаются операции, не требующие средств механизации и автоматизации	$H_{мкн}$	
7	Общее количество операций контроля и настройки	$H_{кн}$	
8	Общее количество типоразмеров ЭРЭ в изделии	$H_{тЭРЭ}$	
9	Количество типоразмеров оригинальных ЭРЭ в изделии	$H_{т.орЭРЭ}$	
10	Количество деталей шт., заготовки которых или сами детали получены прогрессивными методами формообразования (штамповкой, прессованием, порошковой металлургией, литьем по выплавляемым моделям, под давлением и в кокиль, пайкой, сваркой, склеиванием, из профилированного материала)	$D_{пр}$	
11	Общее количество деталей (без нормализованного крепежа) в изделии	D	

Полученный комплексный показатель технологичности конструкции электронного блока сверяют с нормативами комплексных показателей технологичности конструкций блоков автоматизированных систем управления и электронно-вычислительной техники, приведенными в таблице 7.

Таблица 7 – Нормативы комплексных показателей технологичности конструкций блоков автоматизированных систем управления и электронно-вычислительной техники.

Класс блоков	Стадии разработки рабочей документации		
	Опытный образец	Установочная серия	Установившееся серийное производство
Электронные	0,40 – 0,70	0,45 – 0,75	0,50 – 0,80
Электромеханические и механические	0,30 – 0,50	0,40 – 0,55	0,45 – 0,60

Продолжение таблицы 7

Класс блоков	Стадии разработки рабочей документации		
	Опытный образец	Установочная серия	Установившееся серийное производство
Радиотехнические	0,40 – 0,60	0,75 – 0,80	0,80 – 0,85
Соединительные, коммутационные, распределительные	0,35 – 0,55	0,50 – 0,70	0,55 – 0,75

Задание

- 1) Ознакомиться с теоретическим материалом.
- 2) Получить данные для расчётов у преподавателя.
- 3) Рассчитать комплексный показатель технологичности электронного блока.
- 4) Сделать вывод о технологичности изделия.
- 5) Оформить отчёт о проделанной работе.

6 Практическое задание «Расчёт показателей технологичности электронных средств, характеризующих технологию изготовления изделий»

Цель работы

Закрепление знаний по разделам «Единая система технологической подготовки производства. Основы построения технологических систем» и овладение навыками анализа технологичности электронного средства в соответствии со стандартами единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП).

Форма проведения

Решение практических задач.

Расчётные формулы

Трудоемкость изготовления изделия:

$$T = \sum_i^i T_i, \quad (34)$$

где T_i – трудоемкость изготовления, сборки, монтажа, настройки, контроля и испытаний i -й составной части изделия, нормо-час.

Технологическая себестоимость изделия:

$$C_T = C_M C_3 C_{ин} C_o, \quad (35)$$

где C_M – расходы на сырье и материалы (без стоимости отходов), руб.;

C_3 – основная заработная плата производственных рабочих с начислениями, руб.;

$C_{ин}$ – расходы на износ инструмента и приспособлений целевого назначения, руб.;

C_o – расходы на содержание и эксплуатацию оборудования, руб.

Коэффициент применения типовых технологических процессов:

$$K_{тп} = \frac{T_{тп}}{T}, \quad (36)$$

где $T_{тп}$ – трудоемкость операций, выполняемых по типовым технологическим процессам.

Коэффициент автоматизации и механизации технологических процессов:

$$K_{ам} = \frac{T_{ам}}{T}, \quad (37)$$

где $T_{ам}$ – трудоемкость операций, выполняемых с помощью средств механизации и автоматизации.

Коэффициент автоматизации установки радиоэлементов на печатные платы:

$$K_{ay} = \frac{H_{ay}}{H_{py}}, \quad (38)$$

где H_{ay} – количество радиоэлементов, устанавливаемых с помощью средств автоматизации;

H_{py} – количество радиоэлементов, устанавливаемых вручную.

Коэффициент автоматизации и механизации технологических процессов контроля:

$$K_{\text{мак}} = \frac{T_{\text{мак}}}{T_{\text{к}}}, \quad (39)$$

где $T_{\text{мак}}$ – трудоемкость операций контроля, выполняемых с помощью средств автоматизации и механизации;

$T_{\text{к}}$ – общая трудоемкость контроля изделий.

Коэффициент применения печатного монтажа:

$$K_{\text{прпм}} = \frac{H_{\text{кпг}}}{H_{\text{пс}}}, \quad (40)$$

где $H_{\text{кпг}}$ – количество контактных площадок в изделии, пайка которых осуществляется групповым методом;

$H_{\text{пс}}$ – общее количество паяных соединений в изделии.

Относительная трудоемкость сборочно-монтажных работ при изготовлении изделия:

$$T_{\text{осми}} = \frac{T_{\text{сми}}}{T_{\text{и}}}, \quad (41)$$

где $T_{\text{сми}}$ – трудоемкость операций сборочно-монтажных работ.

Относительная трудоемкость настроечно-регулирующих работ:

$$T_{\text{онри}} = \frac{T_{\text{нри}}}{T_{\text{и}}}, \quad (42)$$

где $T_{\text{нри}}$ – трудоемкость настроечно-регулирующих работ.

Коэффициент использования материала:

$$K_{\text{имд}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{зд}}}, \quad (43)$$

где $M_{\text{зд}}$ – масса заготовки детали.

Задание

- 1) Получить данные для расчётов у преподавателя.
- 2) Рассчитать показатели технологичности.
- 3) Оформить отчёт о проделанной работе.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрков, Н. К. Технология производства электронных средств: учебник / Н. К. Юрков. – 2-е изд., испр., доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 480 с. – ISBN 978-5-8114-1552-6. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/211457> (дата обращения: 10.02.2022).
2. Основы проектирования электронных средств: Учебное пособие / В. Г. Козлов, А. А. Чернышев, Ю. П. Кобрин – 2012. 149 с. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/2783> (дата обращения: 10.02.2022).
3. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов / И. П. Бушминский, О. Ш. Даутов, А. П. Достанко и др.; Ред. А. П. Достанко, Ред. Ш. М. Чабдаров. - М.: Радио и связь, 1989. - 624 с.
4. Технология и автоматизация производства электронных приборов и устройств: учебное пособие / Л. Н. Орликов; Министерство образования Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТМЦДО, 2000 - Ч. 1. - 118 с.
5. Технология и автоматизация производства электронных приборов и устройств: учебное пособие / Л. Н. Орликов; Министерство образования Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТМЦДО, 2000 - Ч. 2. - 88 с.
6. Организация и планирование радиотехнического производства: учебное пособие для вузов / В. Г. Новиков [и др.]; ред.: В. Г. Новиков, К. Д. Коноваленко. - Харьков: Вища школа, 1984. - 272 с.
7. Вейцман, Э. В. Технологическая подготовка производства радиоэлектронной аппаратуры: / Э. В. Вейцман, В. Д. Венбрин. – М.: Радио и связь, 1989. – 128 с.