

# Определение трудоемкости работ при проектировании печатных узлов

**В.В. Алымов, А.Ю. Голышева**  
ntc@ratep.ru

**Каждый руководитель конструкторского подразделения сталкивается с задачами планирования, организации и нормирования работ конструкторов и оценки эффективности их труда. В данной статье пойдет речь об оценке труда конструкторов, занятых разработкой и сопровождением КД радиоэлектронной аппаратуры с печатным монтажом.**

Определение трудоемкости (нормирование труда) ряда работ, выполняемых конструктором возможно на основе достаточно четких нормативов, другие же работы не поддаются прямому нормированию и могут быть оценены только за большие периоды времени статистическими методами.

К работам, выполняемым конструктором на основе четких нормативов можно отнести:

- разработку КД на стадиях «технический проект» и «рабочая конструкторская документация»;
- отработку КД в плановом порядке по замене ЭРИ, материалов, стандартов и т.п.;
- разработку файлов по готовым чертежам.

К работам, не поддающимся четкому нормированию, относятся:

- работы на стадиях «техническое предложение» и «эскизный проект», особенно разработка схемотехнических, кинематических, тепловых и других наукоемких решений;
- отработка КД, получаемой от головных разработчиков, когда практически на каждый чертеж требуется выпустить несколько извещений как при конструкторской и технологической проработке, так и при изготовлении деталей, сборке и регулировке. При этом ряд устройств требует коренной переделки с полным перевыпуском КД.

**Таблица 1. Трудоемкость операций разработки КД узла с печатным монтажом**

Операции	Трудоемкость, час
1. Получение и анализ ТЗ, согласование габаритов и особенностей конструкции, токов и напряжений в цепях, надписей и т.д.	2
2. Рассмотрение схемы электрической и перечня элементов на соответствие НСИ и наличие библиотечных элементов. Подбор библиотечных элементов из имеющихся.	1,5-3
3. Поиск габаритно-присоединительных размеров ЭРИ (отдел стандартизации предприятия, справочники, Internet).	1,5/на один элемент
4. Создание новых библиотечных элементов (габаритно-установочных образов и посадочных мест).	2-5/на один элемент
5. Ввод, редактирование и контроль таблицы цепей.	4-8
6. Создание файла-заготовки платы.	1
7. Наложение файла элементов и цепей на заготовку, устранение ошибок.	3-8
8. Размещение элементов	См. табл. 2
9. Трассировка платы с учетом токов и напряжений в цепях (ширина проводников и зазоров).	См. табл. 3-4
10. Создание элементов чертежа в файле модели печатной платы (сетка, оцифровка, простановка размеров, технические требования, подсчет количества отверстий и контактных площадок (КП), таблица отв. и КП, дополнительные виды для сборочного чертежа).*	См. табл. 6
11. Регистрация обозначения сборки, платы и дополнительных деталей в КОС.	0,2/на один чертеж
12. Создание образов сборочного чертежа и чертежа печатной платы.	4-8
13. Создание спецификации в программе AVS.	0,15/на одну запись
14. Размещение модели и чертежей в SEARCH, заполнение карточек.	0,25/на один чертеж
15. Выпуск чертежей в бумажном виде.	0,5/на один чертеж.
16. Проверка ведущим конструктором КД на соответствие ТЗ, ЭЗ, ПЭЗ, ЕСКД и т.д. Выдача замечаний. Подписание чертежей в электронном и бумажном видах.	1-3/на один чертеж.
17. Согласование КД с разработчиком ТЗ, технологами и нормоконтролем.	1-3
18. Согласование КД с заказчиком.	1-2
19. Внесение изменений в КД по результатам согласований и проверок.	2-6
20. Регистрация в книге сдачи КД и сдача в отдел технической документации.	1
21. Подготовка, печать и согласование служебной записки и ТЗ по запуску в производство разработанного узла	4

При определении трудоемкости работ первого вида, критериями нормирования могут служить сложность КД по функциональному назначению, степень новизны, количество размеров и другие параметры.

Для узлов с печатным монтажом дополнительными критериями являются площадь покрытия элементами, наличие новых элементов, требующих разработки библиотечных образов, общее количество выводов, площадь платы, связность выводов (количество цепей и количество выводов в цепи), класс точности печатных плат.

Эта статья написана на основе опытно-статистических данных о производительности труда и нормах времени, полученных из анализа работ, выполненных специалистами на протяжении ряда лет с учетом использования средств САПР.

Оценка трудоемкости конструирования печатных узлов и выпуска КД произведена на основе следующих исходных данных:

- новизны применяемой элементной базы;
- сложности электрической схемы;
- плотности монтажа и компоновки;
- ожидаемого количества дополнительных деталей;
- времени, затрачиваемого на разработку файла модели печатной платы;
- времени, затрачиваемого на разработку одного чертежа формата А4;
- количества видов и деталей, входящих в сборочный чертеж;
- экспертной оценки ведущих специалистов.

Нормативы времени на разработку учитывают затраты на обслуживание рабочего места, проветривание помещений, время на личные надобности.

В нормативах учтено время на изучение нормативно-технической документации (технические условия, ГОСТы, ОСТы, инструкции по применению ЭРИ и др.). В некоторых случаях время на изучение НТД при планировании и отчетности может учитываться отдельно.

Трудоемкость операций разработки КД узла с печатным монтажом приведена в таблице 1.

Для определения сложности разработки печатных узлов вводятся следующие понятия.

**Таблица 2. Трудоемкость размещения элементов на печатной плате**

Кол-во элементов \ Кэ	Кэ					
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
20	3	4	4,5	5,5	6	7
30	4	5,5	6,5	8	9	10
50	6,5	8,5	10,5	12	13,5	15
80	10	12,5	15	17,5	20	22
120	13	17	20,5	24	27	30
200	18,5	24	29	34	38	42
300	24	31	38	43	49	54
500	32	42	50	58	65	72

- Коэффициент покрытия элементами:

$$Kэ = Sэ / Sпл, \text{ где}$$

**Sэ** - площадь ЭРИ по огибающему прямоугольнику с учетом контактных площадок;

**Sпл** - площадь платы с учетом запретных зон в см<sup>2</sup>.

- Коэффициент плотности выводов

$$Kв = Nв / Sпл, \text{ где}$$

**Nв** - количество выводов ЭРИ;

**Таблица 3. Трудоемкость ручной трассировки**

Nв \ Kв	Kв				
	2	2,5	3,2	4	4,8
30	2,5	3,5	5	7	8,5
50	4	6	8	12	14
80	6	9	13	18	22
120	9	13	19	26	32
200	14	20	29	40	50
300	20	28	40	56	70
500	29	41	60	85	100
800	41	58	83	120	143
1200	54	76	110	150	190
2000	75	105	150	215	260
3000	96	134	194	270	340

**Таблица 4. Трудоемкость автотрассировки**

Nв \ Kв	Kв				
	2	2,5	3,2	4	4,8
200	10	11	13	15	17
300	13	15	17	20	22
500	18	21	24	27	30
800	24	27	31	36	40
1200	30	33	39	44	49
2000	37	42	49	56	63
3000	45	50	58	66	74
5000	53	60	70	80	90

**Таблица 5. Влияние класса точности Кл**

Кл	Размеры зазоров и проводников мм.	Кк
1	0,75 / 0,75	0,7
2	0,45 / 0,45	0,8
3	0,25 / 0,25	1
4	0,15 / 0,15	1,3
5	0,10 / 0,10	1,6

**Спл** - площадь платы с учетом запретных зон в см<sup>2</sup>.

**Нц** - количество цепей.

- Класс точности по ГОСТ23751-86 **Кл**.
- Квалификация работника (категория по штатному расписанию) **Кр**.
- Трудоемкость в часах **Т**.

**Кз** определяет возможность размещения элементов на печатной плате. Для элементов со штыревыми выводами **Кз** не может быть более 0,8, поскольку элементы могут размещаться только с одной стороны по условиям пайки. Для элементов с планарными выводами (поверхностный монтаж) **Кз** не превышает 1,5, так как требуется значительная площадь для переходных отверстий; при этом элементы размещаются с двух сторон.

Трудоемкость размещения элементов на печатной плате в зависимости от количества элементов и **Кз** приведена в таблице 2.

Возможность и трудоемкость разработки топологии (трассировка) двусторонних печатных плат в ручном режиме зависит от **Кв**, **Кл**, **Нв** и связностью выводов. При этом надо учитывать, что **Кл** определяется возможностями производства (например, для нашего предприятия он равен 3), т.е. ширина проводников и зазоров составляет 0,25 мм, однако, при проектировании приходится увеличивать эти значения до 0,3 мм (для компенсации погрешностей производства). **Кв** и **Нв** определяют возможность трассировки в заданном количестве слоев. Реальные возможности ручной трассировки при нерегулярной структуре позволяют достичь **Кв** = 4 в двух слоях для **Кл** = 3.

На практике платы с **Нв** более 500 как правило разводятся автотрассировщиком. Однако, ответственные платы, требующие защиты от помех, высокочастотные, с особыми условиями прокладки проводников (например, импедансные) и платы питания требуют особого внимания при любом **Нв**. Для **Кл** = 3 при **Кв** больше 3,2 автотрассировка возможна только для многослойных печатных плат, при преимущественно двусторонней установке планарных ЭРИ с разнонаправленными стрингерами, а также слоями питания и земли в виде регулярной сетки.

**Таблица 6. Трудоемкость разработки атрибутов чертежей**

Атрибут	Параметр	Значение	Т
Сетка и оцифровка	Размер платы	30 X 30	0,25
		50 X 50	0,5
		80 X 80	0,75
		100 X 160	1
		240 X 135	1,25
		280 X 170	1,5
		360 X 260	2
Технические требования	Количество символов	200	1
		350	1,5
		500	2
		800	2,5
		1200	4
Определение и нанесение размеров	Количество размеров	10	0,5
		20	1
		40	1,5
		70	2
		120	2,5
Таблица отверстий и КП	Количество строк	3	0,6
		5	0,8
		8	1
		12	1,25
		18	1,5
Выноски на сборочном чертеже	Количество выносок	5	0,3
		10	0,6
		20	1
		40	1,75
		70	2,5
Виды установки ЭРИ	Количество видов	3	1,5
		5	2,5
		8	4
		12	6
		18	8

**Таблица 7. Учет квалификации работника**

Квалификация работника	Кр
Инженер - конструктор 1 категории	0,8
Инженер - конструктор 2 категории	1
Инженер - конструктор 3 категории	1,3

площадь платы 160 см<sup>2</sup>, Кэ = 0,85

450 выводов,  
Кв = 2,8, Кл = 3, Кр = 1,  
новых элементов 2

**Трудоёмкость разработки файла печатной платы по КД**

При этом количество слоев мало влияет на оценку трудоёмкости разработки, за исключением случаев, когда конструктору приходится вручную вносить коррекцию для уменьшения числа слоев или увеличения помехоустойчивости. Трудоёмкость трассировки для плат с **Кл** = 3 приведена в таблицах 2 и 3.

Реальное разнообразие плат требует более гибкого подхода к процессу трассировки, например, платы блоков питания имеют параметры проводящего рисунка по **Кл** = 1 или 2, но требуют расчета и разработки радиаторов охлаждения и весьма капризны к компоновке элементов. С другой стороны, применение новой элементной базы с многовыводными ЭРИ (более 240 выводов) с малым шагом требует перехода к платам с **Кл** = 4 и даже **Кл** = 5. Влияние класса точности **Кл** оценивается для операции трассировки в виде поправочного коэффициента **Кк**. Значение **Кк** приведено в таблице 5.

Для получения КД в файле \*.PCB формируются образы чертежей, которые состоят из рамок форматов, основной информации, выделенной из слоев, технических требований, дополнительных видов и т.п., которые в программе P-CAD PCB называются элементами чертежей.

**Трудоёмкость разработки атрибутов чертежей**

Учет квалификации работника производится умножением общей трудоёмкости разработки на поправочный коэффициент **Кр** в соответствии с таблицей 7.

Итоговая трудоёмкость разработки КД складывается из всех операций, перечисленных в таблице 1, и зависит от конкретной электрической схемы и конструктивного решения.

**Пример расчета (таблица 8):**

Модуль МЗУТ - 11. ТЗ № 267/22 от 01.08.03.  
130 элементов, площадь элементов 135 см<sup>2</sup>,

**Таблица 8. Трудоёмкость разработки атрибутов чертежей**

Параметр \ № по табл.1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Т	2	2	4	4	6	1	5	13	64	14	1
Кол. элементов			2	2				130			
Кол. выводов									450		
Параметр \ № по табл.1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Т	4,5	6	9	1,5	2	10	3	3	4	1	4
Кол. чертежей	2			6	4	6	6				
Кол. записей			60								

**Итого: 150 часов**

**Таблица 9. Трудоемкость операций по разработке файлов с ручной КД**

Операции	Трудоемкость, час
1. Анализ ЭЗ, ПЭЗ, согласование замены ЭРИ, материалов, надписей и т.д.	2
2. Подбор библиотечных элементов из имеющихся.	1-4
3. Ввод, редактирование и контроль таблицы цепей*.	10-24
4. Размещение элементов	0,08/на один элемент
5. Ввод проводящего рисунка с готового чертежа на 100 координат	1,5
6. Контроль файла платы на соответствие КД P-CAD 2002/P-CAD 4.5	1/8
7. Выпуск и согласование извещений на замену КД	6

**Таблица 10. Трудоемкость разработки файла печатной платы по КД**

Параметр \ № по табл.1 (9)	(1)	(2)	3	4	(3)	6	7	(4)	(5)	10	(6)
T	2	1	3	5	16	1	5	2	27	5	
Кол. элементов			2	2				25			
Кол. координат									1800		
Только файл в P-CAD 2002	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1
Только файл в P-CAD 4.5	+	+	+	+		+		+	+		8

  

Параметр \ № по табл.1 (9)	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	(7)
T		6	5	1	2	8	2	2	2	1	6
Кол. чертежей				4	4	4	4				
Кол. записей			34								
Только файл в P-CAD 2002											+
Только файл в P-CAD 4.5											+

Итого: 104 часа

**Пример расчета (таблица 10):**

Ячейка Я2 ЗГ7-545 ЛИЗ.051.248  
Плата печатная ЛИ7.104.583

Элементы: модули 2ПКН22 - 1, ЗСХЛ39 - 1, ЗРГ26 - 1;  
Вилка ГРПП-36 -1;

Конденсаторы: К10-17 - 4, К53-4 - 1;  
Микросхемы 133 серии - 16.

25 элементов, площадь платы 140 см<sup>2</sup>, Кэ = 1,3,  
1800 координат,

354 вывода, Кв = 2,5, Кл = 3, Кр = 1, новых элементов 2

Разработка файла в P-CAD 2002 без перевыпуска КД -  
69 часов.

Быстрый подсчет трудоемкости разработки можно полу-  
чить с использованием программы Excel.

\* Выполнение этих операций может быть автоматизировано с  
помощью утилиты DRAWPCad, которая формирует чертежи КД  
непосредственно в P-CAD 2002. При этом скорость оформления  
КД возрастает на порядок.

**За дополнительной информацией, а также по вопросам  
приобретения программных продуктов обращайтесь в  
ОАО Родник Софт: (095) 113-7001, 113-2688,  
sales@rodnik.ru, www.rodnik.ru ■**

**ЗАО "Многослойные  
печатные платы"**

Производство печатных плат  
третьего, четвертого класса точности  
по третьей, четвертой группам жесткости эксплуатации

**до 24 слоев!**

Лидер  
производства  
многослойных  
печатных плат  
четвертого  
класса точности

195299, г. Санкт-Петербург, ул. Киришская, 2  
Тел./Факс: +7 812 596 5767  
E-mail: pplaty@peterlink.ru http://zaompp.h1.ru