

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

## **СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОВ ОПТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Методические указания к практическим занятиям  
и самостоятельной работе  
для студентов направления 210100.62 – Электроника и  
наноэлектроника

2014

## **Орликов Леонид Николаевич.**

Специальные вопросы технологии приборов оптической электроники: методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов направления 210100.62 – «Электроника и наноэлектроника». / Л. Н. Орликов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2014. - 36 с.

Целью настоящего пособия является углубление понимания процессов, происходящих при формировании приборов оптической электроники.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способностью проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектов (ПК-8);
- способностью готовить документацию и участвовать в работе системы менеджмента качества на предприятии (ПК-15);
- способностью организовывать работу малых групп исполнителей (ПК-23);
- готовностью участвовать в разработке организационно-технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет) установленной отчетности по утвержденным формам (ПК-24);

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Электроника и наноэлектроника».

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ  
Зав.кафедрой ЭП  
\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

## **СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОВ ОПТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Методические указания к практическим занятиям  
и самостоятельной работе  
для студентов направления 210100.62 – Электроника и наноэлектроника

Разработчик  
д-р техн. наук, проф.каф.ЭП  
\_\_\_\_\_ Л.Н.Орликов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г

## Содержание

Введение.....	5
Занятие 1. Проектирование технологий .....	6
Занятие 2. Построение последовательности технологических операций .....	7
Занятие 3. Технологичность.....	9
Примеры решения задач.....	10
Задачи по теме .....	11
Занятие 4. Расчеты технологических параметров оборудования. Расчет вакуумных систем .....	12
Занятие 5. Расчеты технологических параметров оборудования .....	14
Занятие 6. Решение ситуационных задач .....	19
Занятие 7. Подготовка документации и участие в работе системы менеджмента качества на предприятии. Организация работы малых групп исполнителей .....	28
Занятие 8. Разработка документации .....	30
Занятие 9. Конференция по защите рефератов самостоятельных заданий.....	32
Интерактивные занятия и их контроль .....	34
Интерактивные занятия – конференции .....	34
Критерии оценок за самостоятельное задание.....	35
Вопросы для самостоятельной проработки лекционного материала .....	35

## Введение

Целью настоящего пособия является углубление понимания процессов, происходящих при формировании приборов оптической электроники. Уделяется внимание процессам выбора проектов для разработки приборов оптической электроники, обеспечения технологичности. Рассматриваются варианты задач по процессам, сопровождающим формирование оптических покрытий в вакууме.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способностью проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектов (ПК-8);
- способностью готовить документацию и участвовать в работе системы менеджмента качества на предприятии (ПК-15);
- способностью организовывать работу малых групп исполнителей (ПК-23);
- готовностью участвовать в разработке организационно-технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет) установленной отчетности по утвержденным формам (ПК-24);

В результате изучения дисциплины студент должен

- *знать*: физические принципы работы приборов электроники и наноэлектроники; основные приемы построения последовательностей технологических операций при формировании и синтезе оптических материалов;
- *уметь*: ориентироваться в многообразии современных технологий, применяемых при производстве приборов электроники и наноэлектроники; разрабатывать принципиальные схемы последовательностей технологических операций; определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения технологических операций; использовать для анализа процессов стандартные программные продукты;
- *владеть* основными навыками анализа достоинств и недостатков известных технологий формирования оптических материалов на элементах электроники и наноэлектроники.

Темы занятий

1. Решение задач на технологичность (ПК-8)
2. Решение задач на расчет параметров оптических приборов (ПК-8)
3. Конференция по темам индивидуальных заданий с позиций менеджмента качества (ПК-15)
4. Конференция по документации для индивидуального задания по методикам эксплуатации технического оборудования и программного обеспечения для обслуживающего персонала (ПК-24)

## **Занятие 1. Проектирование технологий**

На первом занятии студент выбирает тему для проработки. Проводится семинар и обсуждается актуальность каждой темы и возможные пути ее практической реализации.

Таковыми темами могут быть следующие темы.

1. Формирование зеркал с внешним отражающим слоем
2. Изготовление акустоэлектронного элемента
3. Изготовление оптоэлектронного элемента
4. Формирование прозрачных теплообразующих покрытий на оконных стеклах
5. Формирование полупрозрачных покрытий под золото на конкретные изделия из алюминия, полиэтиленовой пленки, стекла и тд
6. Формирование просветляющих покрытий на ниобате лития
7. Ионное формирование антибликовых покрытий
8. Ионное травление ниобата лития.
9. Изготовление волноводов на основе цинка, висмута, свинца на стеклах.
10. Изготовление диффузионных волноводов на ниобате лития на основе титана.
11. Процесс легирования диффузионного волновода
12. Ионно-диффузионный метод изготовления оптического волновода на основе меди
13. Разработать процесс формирования просветляющего покрытия (Cu/MgF<sub>2</sub>/LiNbO<sub>3</sub>)
14. Разработать процесс ионного травления нанослоя MgF<sub>2</sub>
15. Разработать процесс легирования поверхности ниобата лития железом
16. Разработать процесс получения эпитаксиальных пленок алюминия

### **Содержание задания**

1. Обосновать метод решения проблемы и выбрать типовую установку для решения проблемы.
2. Обосновать конкретно: какой материал применяется, какая толщина нанослоя необходима, какие токи и напряжения используются, какой вакуум.
3. Спроектировать последовательности технологических операций изготовления конкретного прибора оптической электроники.
4. Спроектировать процесс подготовки под технологические операции, спроектировать последовательность формирования пленки.
5. Спроектировать схему измерения толщины и адгезии пленки

### **Методические рекомендации по выполнению задания**

Рекомендуется проанализировать задание в целом и обозначить

неясные вопросы. После выбора темы следует провести обзор литературы и ответить на вопросы: как технически реализовать тему и какие фирмы заинтересованы в реализации.

### **Примерная схема выполнения индивидуального задания**

#### 1. Патентный поиск по теме

Описание преимуществ выбранного метода решения проблемы перед другими для индивидуального задания. Обоснование типа электронно-ионных источников для самостоятельного задания. Параметры технологичности, допуски и посадки в конструкторской части индивидуального задания.

#### 2. Математическое моделирование процесса в индивидуальном задании.

Уточненный расчет вакуумной системы для индивидуального задания. Расчеты электрофизических параметров оборудования. Составление технологической карты процесса или последовательности технологических операций формирования оптических покрытий.

#### 3. Маркетинговые исследования

Обосновать рынки сбыта изделий. Описать сертифицированные и не сертифицированные узлы в оборудовании, предлагаемом в индивидуальном задании.

#### 4. Разработка инструкций по безопасному ведению работ применительно к индивидуальному заданию

## **Занятие 2. Построение последовательности технологических операций**

### **Задание для проработки темы**

Разработать технологический процесс изготовления конкретного оптоэлектронного прибора.

Проанализировать известные решения, дать технико-экономическое обоснование необходимости изготовления прибора (ПК-8), оценить значимость и перспективы реализации прибора (ПК-15), проанализировать необходимую документацию (ПК-24) и ее разработку в малой группе из 2-3 чел (ПК-23).

Показать расчетами возможные режимы работы прибора и как экспериментально исследовать возможности прибора.

*Например: построение последовательности технологических операций изготовления оптического планарного волновода (свинец-стекло)*

подавляющее число приборов оптической электроники изготавливаются по пленочной технологии с путем испарения материалов в вакууме. Для получения приборов важна последовательность технологических операций (маршрутная карта).

*Маршрутная карта* в первом приближении выглядит так: напылить

пленку свинца на стекло, провести диффузию, измерить параметры.

Перед процессом определяют «участников», наиболее влияющих на процесс. Такими участниками являются: вакуумная камера, испаритель материала, испаряемая навеска, подложка. Вначале из справочников следует получить сведения об участниках процесса (марка, температура испарения, степень чистоты, что делалось в вакуумной камере до настоящего времени).

В таблице 1 представлена общая схема технологического процесса изготовления планарного волновода на стекле и операции, которые предстоит исполнить (операционная карта).

Таблица 1 – Первый этап: очистка.

Участники	Справка	Очистка	Монтаж	Примечание
Подложка	Стекло ОП-10	Спирт	Держатели	
Навеска	Свинец	Механическая	5 грамм	
Испаритель	Железо, лист	Механическая	Для токового нагрева	Прокалить в вакууме
Камера	УВН-2М	Ацетон		
Термопара	Хромель-копель	-	На подложку	
Свидетель	Стекло	Спирт	Визуальный контроль	
Трафарет	Полоски никеля	Спирт	Под подложку	

Таблица 2 - Второй этап – откачка (необходимо использовать алгоритм включения и выключения установки)

Закрывать все вентили	Запуск форвакуумного насоса	Откачка 10 минут	Запуск диффузионного насоса	Откачка 20 минут
Прогрев подложки до 200 <sup>0</sup> С 5 <sup>0</sup> /мин	Контроль вакуума (<0,01Па)	Обезгаживание испарителя (200 <sup>0</sup> С)	Формирование пленки, 1000 <sup>0</sup> С, 5 сек, 0,5 мкм	Отжиг пленки 200 <sup>0</sup> , 30 мин

Этап 3 - Выход из технологического процесса (согласно алгоритму выключения установки)

**Методические указания к выполнению задания.** Составлять последовательности лучше с использованием ЭВМ, что дает возможность оперативной корректировки процесса

### Занятие 3. Технологичность

Под технологичностью понимается изготовление прибора с минимальными затратами.

Задачи составлены на основе общих закономерностей протекания процессов при изготовлении электронных приборов. Формулы для вычислений взяты из лекционного материала. В ряде случаев рекомендуется проанализировать системы единиц измерения. Это связано с тем, что выпускаемые параметры оборудования тяготеют к измерениям в технических единицах.

Задачи этого раздела рассчитаны на закрепление материала по энергоёмкости, стандартизации и материалоемкости процессов, по определению показателя параллельности процессов, по оптимизации последовательностей технологических операций.

#### Основные понятия и методические указания по решению задач

Коэффициент использования материала в изделии массой  $M_i$  относительно массы заготовки  $M_z$  насчитывается по формуле:  $K_i = M_i / M_z$ ; Масса заготовки с учетом базовых показателей технологичности может быть рассчитана по массе аналога  $M_a$  через коэффициент изменения размеров  $K_p$ :  $M_z = M_a K_p$ .

Эрготический показатель-это показатель автоматизации, рассчитываемый по объему машинных и ручных работ.

$$K = \sum \text{Эмаш} / (\sum \text{Эмаш} + \sum \text{Эруч}).$$

Коэффициент параллельности – это отношение времени параллельной работы к времени всего процесса.

Время изготовления  $T_{изг}$  партии деталей определенного количества “ $m$ ” складывается из времени подготовки оборудования  $T_{подг}$ , времени изготовления каждой детали  $t_i$ , время контроля  $T_k$ , планируемых отказов по организационно-техническим причинам  $T_{от}$ . При этом учитывается коэффициент использования оборудования  $K_i$ .

$$T_{изг} = T_{подг} + \sum_m t_i / k_i \times m + T_k \times m + T_{от}.$$

Коэффициент освоенности изделия есть отношение

$$K = \sum \text{сторонних деталей} / \sum \text{всех деталей без учета крепежных деталей}.$$

Процент стандартизации изделия  $K_{ст}$ , есть сумма числа стандартных изделий в отрасли  $N_{ст.о}$  и числа покупных деталей  $N_p$ , отнесенная к числу стандартных изделий без крепежа  $N_{ст}$

$$K_{ст} = (N_{ст.о} + N_{п}) / N_{ст.}$$

Коэффициент использования прогрессивной технологии есть отношение массы чистовой детали к массе черновой заготовки

$$K_{и} = N_{чист} / N_{черн.}$$

Коэффициент повторяемости изделий, есть отношение числа оригинальных деталей в изделии к суммарному числу проекций этих изделий в чертежах.

Коэффициент стабильности процесса, есть отношение дисперсии мгновенного распределения контролируемого параметра  $\sigma_m$  к средне квадратичному отклонению « $\sigma$ » всех параметров процесса.

$$K_{с} = \sigma_m / \sum \sigma.$$

Коэффициент настроенности линии  $K_n$  есть отношение среднеарифметического значение параметра  $\sigma_{са}$  без поля допуска размеров  $\sigma_{доп}$  к сумме среднеквадратичного отклонения всех параметров  $\sigma$ , включая среднюю цену деления измерительных приборов  $\sigma_{пр}$ .

$$K_n = (\sigma_{са} - \sigma_{доп}) / \sigma + \sigma_{пр}.$$

### Примеры решения задач

**Задача 3.1.** Определить показатель параллельности процесса при термовакуумном напылении пленок, если весь процесс напыления длился 4 часа, а суммарное время параллельно включенных блоков составило 2 часа. Ответ дать в процентах.

Решение. Коэффициент параллельности – это отношение времени параллельной работы к времени всего процесса

$$K = 2/4 = 0,5 = 50\%.$$

**Задача 3.2.** Рассчитать коэффициент освоенности изготовления изделия, если число покупных комплектующих  $N_{п} = 10$ , число стандартных изделий в отрасли  $N_{с} = 5$ , число заимствованных деталей с соседнего завода  $N_{з} = 8$ , число нестандартных деталей  $N_{нс} = 2$ , общее число деталей в изделии  $N = 95$ , число крепежных стандартных изделий  $N_{ст} = 20$ . Ответ дать в процентах.

Решение.

$$K = \sum \text{сторонних деталей} / \sum \text{всех деталей без крепежа};$$

$$K = 10 + 5 + 8 + 2/95 - 20 = 0,33. \text{ Ответ } 33\%.$$

### Задачи по теме

**Задача 1.** Рассчитать коэффициент использования материала при изготовлении изделия массой 5 кг. Масса аналога 10 кг. Коэффициент изменения размеров  $K_p = 2$ .

**Задача 2.** Рассчитать эрготический показатель автоматизации технологического процесса, если при его выполнении тратится 3 квтч машинных затрат и 2 квтч на ручной труд.

**Задача 3.** Определить показатель параллельности процесса при термовакуумном напылении пленок, если весь процесс напыления длился 4 часа, а суммарное время параллельно включенных блоков составило 1 час. Ответ дать в процентах.

**Задача 4.** Рассчитать время изготовления партии микросхем в количестве 100 шт., если время подготовки оборудования составляет  $T_{\text{подг}} = 10$  ч, время изготовления каждой микросхемы  $t_i = 0,5$  часа, время контроля  $t_k = 0,1$  ч, планируемые отказы по организационно-техническим причинам  $T_{\text{от}} = 5$  ч. Коэффициент использования оборудования  $K_i = 0,5$ .

**Задача 5.** Рассчитать коэффициент освоенности изготовления изделия, если число покупных комплектующих  $N_p = 10$ , число стандартных изделий в отрасли  $N_c = 5$ , число заимствованных деталей с соседнего завода  $N_z = 8$ , число нестандартных деталей  $N_{nc} = 2$ , общее число деталей в изделии  $N = 100$ , число стандартных крепежных изделий  $N_{ст} = 20$ . Ответ дать в процентах.

**Задача 6.** Рассчитать процент стандартизации изделия  $K_{ст}$ , если число стандартных изделий подобного типа в отрасли  $N_{ст.о} = 8$ , число покупных деталей  $N_p = 10$ , а число стандартных изделий без крепежа  $N_{ст} = 60$ .

**Задача 7.** Рассчитать процент использования прогрессивной технологии при формообразовании изделий, если из 8 кг заготовок 3 кг составляют чистовые.

**Задача 8.** Рассчитать коэффициент повторяемости изделий, если число оригинальных деталей в изделии  $N = 2$ , а суммарное число проекций этих изделий в чертежах равно 8.

**Задача 9.** Рассчитать коэффициент стабильности процесса, если дисперсия мгновенного распределения контролируемого параметра  $\sigma_m = 0,1$ , а средне квадратичное отклонение всех параметров  $\sigma = 0,8$ .

**Задача 10.** Рассчитать коэффициент настроенности линии производства колб радиоламп, если среднеарифметическое значение толщины стенки равно  $b_{са}=0,6$  мм, средние поля допусков размеров  $b_{доп}=0,18$  мм, среднеквадратичное отклонение всех параметров  $b=0,5$  при цене деления измерительных приборов  $b_{пр}=0,1$ .

#### **Занятие 4. Расчеты технологических параметров оборудования. Расчет вакуумных систем**

Расчет вакуумной системы необходим для определения основных ее параметров: требуемой производительности откачных средств и времени откачки до рабочего давления.

Суммарный поток газовой выделенности складывается из газовой выделенности стенок камеры, газовой выделенности из изделий, газовой выделенности из различных вводов в камеру и потока напускаемого рабочего газа.

Поток газовой выделенности с поверхности камеры  $Q$  определяется произведением площади поверхности  $A$  на коэффициент удельного газовой выделенности  $g$  и коэффициент поверхности  $\Omega$ :

$$Q = Ag\Omega. \quad (2.1)$$

Величины удельного газовой выделенности приводятся в соответствующей справочной литературе (для стекла и керамики  $g=10^{-4}$  Па м<sup>3</sup>/с с 1м<sup>2</sup>). Коэффициент поверхности зависит от качества механической обработки материала (для стали достигает 10).

В вакуумной камере всегда имеется более десятка вводов: для датчиков, для термопар, для ввода напряжения и т.д. Поток натекания через такие элементы  $Q$  определяется произведением чувствительности течеискателя  $\kappa = 10^{-6}$  на их число  $N$ .

$$Q = \kappa N. \quad (2.2)$$

Таким образом, суммарный поток газов в вакуумной камере определится выражением:

$$\sum Q = (Ag\Omega)_к + (Ag\Omega)_и + \kappa N + Q_{нап}, \quad (2.3)$$

где первое слагаемое относится к камере, второе к детали, третье к течеискателю, четвертое к потоку напускаемого газа. Обычно напускаемый поток составляет 30 – 80 см<sup>3</sup> атм/час. Поскольку заводы выпускают оборудование с производительностью в литрах в секунду, то выбранную

величину напуска газа следует умножить на переводной коэффициент  $2,4 \cdot 10^{-4}$ , т.е

$$Q_{\text{нап}} = (30-80) \cdot 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ тор л/с.}$$

Необходимая скорость откачки высоковакуумного насоса определится отношением суммарного потока в вакуумной камере  $Q$  к рабочему давлению  $P_{\text{раб}}$ , при котором проводится технологический процесс.

$$S_n = \sum Q / P_{\text{раб}} . \quad (2.4)$$

Скорость откачки форвакуумного насоса определяется как отношение газового потока на выходе диффузионного насоса  $Q$  к выходному давлению диффузионного насоса ( $P_{\text{вых}}$ ).

$$S_{\text{ф}} = \sum Q / P_{\text{вых}} . \quad (2.5)$$

В большинстве диффузионных насосов выходное давление составляет  $P_{\text{вых}} = 10 \text{ Па}$  (0,1 мм рт ст). Следует выбрать тот механический насос, который обеспечивает требуемую скорость откачки при давлении 10 Па.

Из основного уравнения вакуумной техники следует, что скорость откачки объекта  $S_o$  всегда меньше скорости откачки насоса  $S_n$ . При проектировании систем, если проводимость коммуникаций неизвестна, выбирают скорость насоса с коэффициентом запаса  $\gamma$ :

$$S_n = \gamma S_o , \quad (2.6)$$

где  $\gamma = 1,25$  для форвакуумных насосов;  $\gamma = 2,00$  для высоковакуумных насосов.

Время откачки объекта определяется выражением:

$$t = \frac{V \cdot V'}{S_o} \ln \frac{P_1 - \sum Q / S_o}{P_2 - \sum Q / S_n} , \quad (2.7)$$

где  $V$  – объем, откачиваемого объекта;

$V' = 10^3$  – приведенный объем;

$P_1, P_2$  – начальное и конечное давление.

В расчетах времени откачки в диапазоне давлений, когда существенно возрастают газовыделения (от 10 до 0,01 Па и менее) необходимо учитывать

приведенный объем  $V'$ , увеличенный пропорционально уменьшению давления. (Например, обеспечение рабочего вакуума от 10 до 0,01 Па соответствует, уменьшению давления на три порядка). Соответственно, приведенный объем составит величину  $V' = 10^3$ .

При откачке на форвакууме газовыделениями пренебрегают ввиду их малости. В этом случае время откачки определяют по формуле:

$$t = V / S_9 (\ln P_1 / P_2). \quad (2.8)$$

### Задание

1. Рассчитать необходимые средства откачки для своего задания.

## Занятие 5. Расчеты технологических параметров оборудования

### Задание

1. Выбрать две соединяемые детали. Описать условия работы.
2. Обозначить сортамент материала.
3. Обосновать метод изготовления.
4. Определить оборудование и инструменты для изготовления деталей.
5. Составить ориентировочную схему изготовления.
6. Провести анализ необходимых организационно-технических мероприятий.
7. Определить показатели стандартизации, унификации и технологичности
8. Определить показатели готовности к проведению процесса (норматив 0,6)
9. Составить маршрутную карту.
10. Составить операционные карты.
11. Провести размерный анализ на условие сборки

**Пример.** Расчет фрагмента вакуумного трубопровода

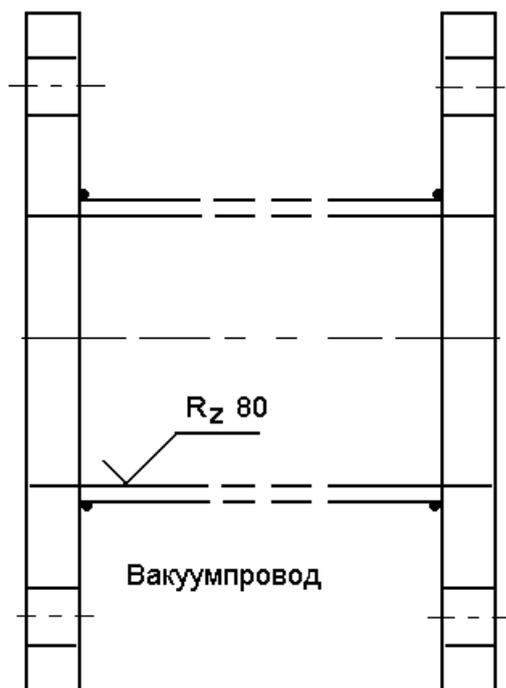


Рисунок 5.1 - Фрагмент вакуумного трубопровода

1. Возьмем трубу с двумя фланцами на концах. Фланцы диаметром по 100 мм, соединение на 8 болтов М8. Условие работы – соединение вакуумпровода, партия 400 шт.

2. Материал сталь фланцев СТЗ, сталь углеродная обыкновенного качества, группа А, ГОСТ380-71, листовая, толщина 10 мм.

Материал трубы: Труба водогазопроводная 65 х 3,2 ГОСТ 3262-75, т.е труба диаметром прохода 65 мм, толщиной 3,2 мм,

3. Среди известных методов изготовления (литье, давление, точение, фрезеровка...) выбираем точение.

4. Оборудование для изготовления – токарный станок ДИП-200. Инструменты: резец проходной, резец отрезной, сверло, сверлильный станок, штангельциркуль.

5. Ориентировочная схема изготовления.

*Операции по листу металла.* Заготовка листа, разметка, вырезка газосваркой, обточка на токарном станке, сверление отверстий. Итого 5 операций, 4 рабочих места

*Операции с трубой.* Раскрой по длине, очистка. Итого 2 операции, 2 рабочих места

*Общие операции* – сварка трубы и фланца, сборка. Итого 2 операции, 2 рабочих места

Таблица схемы изготовления

1	Заготовка листа			
	Разметка			
	Вырезка заготовок газосваркой			
	Обточка на токарном станке			

## 6. Анализ необходимых организационно-технических мероприятий

			Примечание
1	Коэффициент серийности: коэффициент заполнения операций $K_o$ (число операций $O_n$ /число рабочих мест $P_m$ )	$K_o=9/8=1,12$	$K_o > 40$ единичное $K_o = 20-40$ мелкосерий $K_o = 10-20$ средне $K_o = 1-10$ крупносер
2	Такт выпуска (время изготовления) $T_b = \text{кпд} \times$ действительный годовой фонд времени работы оборудования (час)/годовая программа $N$	$T_b = \kappa(T_d \times 60)/N$ $T_b = 0,9(200 \times 60)/400 =$ $= 27$	200 раб дней в год $27 < 400$ , дополнительное оборудование не нужно
3	Среднее основное время по формулам справочника	$t = 0,000075(D^2 - d^2) \cdot L$ $t = 0,000025(D^2 - d^2) \cdot L$ $t = 0,000015(D^2 - d^2) \cdot L$	Токарь, черновое точение Сварщик слесарь
4	Среднее время $t_{\text{осн}} = \sum \text{времен} / \text{число операций}$	$t = 0,88/4 = 0,22$ мин	
5	Среднештучное время $t_{\text{шт}} = t\phi$	$t = 0,22 \times 1,75 = 0,385$	$\phi = 1,75$ коэф. запаса
6	Позиции, вне анализа		Торцовка, фаски, заусенцы, зенковка, шлифовка

## 7. Показатели стандартизации, унификации и технологичности

	Заготовительные операции 000001, сварка 000005	Примечание
1	Класс точности: требуемый класс точности/ точность оборудования (Литье-7 класс, Токарный -3 класс, Координатный-1 класс)	$K_T = K_{TP} / K_{Ob}$ $K_T = 3/3$
2	Коэффициент новизны: число принципиально новых деталей/ общее число деталей	$K_N = N / N_o$ Новизны нет
3	Коэффициент сложности: число разработанных деталей/ число подобных в аналоге	$K_{cl} = N / N_a$ Сложных нет
4	Коэффициент использования материала: масса детали/масса заготовки	$K_M = M_d / M_3$ $K_M = 0,5/1 = 0,5$

1	2	3
5	Коэффициент прогрессивной технологии: количество изготовленных за один прием/количество переходов	0
6	Масса заготовки по аналогу: масса аналога x коэффициент размера	$M_3 = M_a \cdot K_p$
7	Эрготический показатель: Машинные затраты / (Машинные + Ручные) $K = \sum \mathcal{E}_{маш} / (\sum \mathcal{E}_{маш} + \sum \mathcal{E}_{руч})$	
8	Коэффициент параллельности – отношение времени параллельной работы над деталью/ к времени всего процесса.	
9	Коэффициент освоенности $K_o$ отношение числа деталей, приобретенных «на стороне» $N_c$ к сумме всех деталей изделия $N$ без крепежа	$K_o = \sum N_c / \sum N$
10	Коэффициент стандартизации изделия $K_{cm}$ : число, стандартных деталей $N_{cm.o}$ к числу покупных $N_n$ :	$K_{cm} = (N_{cm.o} + N_n) / N$
11	Коэффициент повторяемости: ( $K_n$ ) – отношение числа оригинальных деталей $N_{op}$ , к числу проекций	$K_n = N_{op} / N_{np}$
12	Коэффициент стабильности процесса $K_c$ – отношение мгновенного отклонения контролируемого параметра $\delta_m$ к средне квадратичному отклонению всех параметров $\delta$	$K_c = \delta_m / \sum \delta$
13	Коэффициент настроенности $K_n$ отношение среднеарифметического параметра $\delta_{ca}$ без допуска на отклонение размеров $\delta_{дон}$ к среднеквадратичному отклонению всех параметров $\delta$ , включая цену деления измерительных приборов $\delta_{np}$ :	$K_n = (\delta_{ca} - \delta_{дон}) / \delta + \delta_{np}$
14	Коэффициент прямоточности $K_{нр.м.}$ : отношение общего числа связей (станков) $S_m$ к сумме общих и обратных $S_n$ связей	$K_{нр.м.} = S_m / (S_m + S_n)$
	Средний коэффициент общей готовности: 1- по инструменту; 2- по документации; 3- по оснастке для каждой операции	$K_H = N/N_o$

## 8. Показатели готовности к проведению процесса (норматив 0,6)

Показатели		
Условный коэффициент весомости в ядре процесса		0,3
Степень обеспеченности материалами		0,9
Степень обеспеченности спец. инструментом		0,7
Степень обеспеченности средствами метрологического контроля		1
Интегральная обеспеченность		

## 9. Составление маршрутной карты по ГОСТ. 1. 1118-82

Условные обозначения. М01- служебный символ, А- номер цеха, Б- код изделия по трудозатратам; К- комплектация (движение откуда/куда); М- материал, О- содержание операции, Т- технологическая оснастка, РМ- рабочее место

№	цех	участок	РМ	операция	Код опер, наим	Ед изм, шт	№ док	Т, оснастка	
А	1	2	3	разметка	сварка	400			
Б	Код оборудования- плазмотрон							ручная	
КМ	Наименование детали, изделия					Фланец трубопровода			
А01	01	02	04	Токарная	Код ИОТ № 49-90				
Б02	Подрезать торец трубы–код 38602								
03	Снять фаску трубы								
А04	....								
Б05	.....								
Б06	....								
А07	01	02	04	Резьбонарезная					
Б08	38602-нарезать канавку								
А09									
А10	шлифовка								

## Составление маршрутной карты по ГОСТ. 3. 1118-82

Рисуется штамп форма 5А. Указывается марка материала, норма расхода. Каждой строке присваивают служебный символ. Строки можно корректировать.

**Задание**

Каждому студенту выбрать соединение и провести его технико-экономическое обоснование применительно к своему заданию.

Некоторые соединения представлены на рис. 5.2.

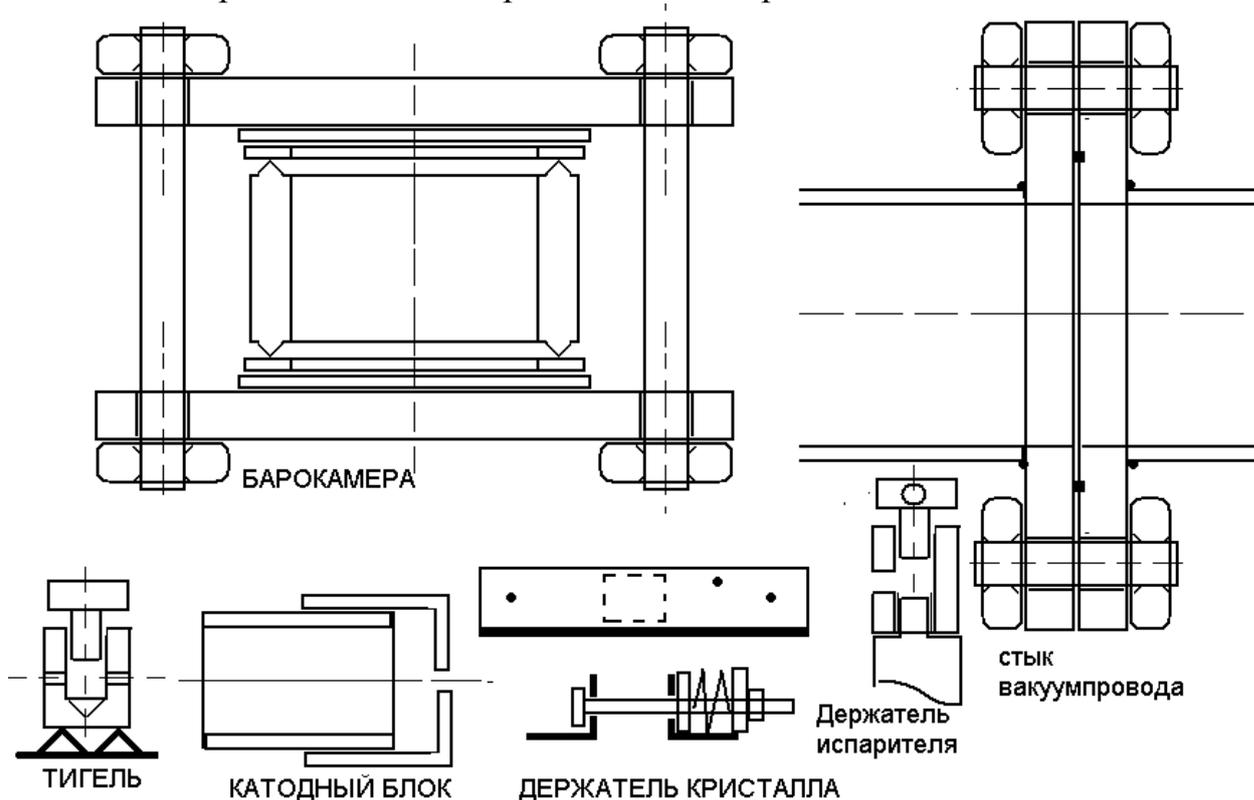


Рисунок 5.2 - Схемы некоторых соединений

### Методические указания

Рекомендуется брать соединение, содержащее 3-5 элементов.

## Занятие 6. Решение ситуационных задач

Данное занятие посвящено разборке наиболее часто встречающихся задач, возникающих при выполнении проектируемого задания.

### Оптические переходы

Явление деформации оптической индикатрисы за счет внешнего электрического поля получило наименование электрооптического эффекта. Большое практическое применение получил линейный электрооптический эффект Поккельса, в котором фазовый сдвиг между обыкновенным и необыкновенным лучами пропорционален напряженности внешнего электрического поля. Напряжение электрического поля, обеспечивающее фазовый сдвиг  $\pi$ , называется полуволновым  $U$ . Величина полуволнового напряжения определяется длиной волны света, параметрами кристалла и взаимной ориентацией направлений распространения света и внешнего электрического поля. При поперечном электрооптическом эффекте (направление внешнего электрического поля перпендикулярно направлению

распространения света) полуволновое напряжение определяется следующим соотношением

$$U=2\lambda d/(\ln^3), \quad (6.1)$$

где  $\lambda$  – длина волны света;

$n$  – показатель преломления для обыкновенного луча;

$r$  – электрооптический коэффициент;

$d, l$  – толщина и длина кристалла соответственно.

Интенсивность света  $I$ , регистрируемого фотоприемником, определяется следующим соотношением:

$$I= I_0 \sin^2 \varphi/2, \quad (6.2)$$

где  $I_0$  – максимальная интенсивность света на входе фотоприемника ;

$\varphi$  – разность фаз обыкновенного и необыкновенного лучей.

Величина полуволнового напряжения определяется как разность напряжений, при которых  $I$  достигает своего минимума и максимума.

Принцип действия светодиода основан на спонтанной инжекционной электролюминесценции – инжекции неосновных носителей заряда в активную область прямого смещенного p-n-перехода (гомо- или гетероперехода) с последующей излучательной рекомбинацией в этой области.

Полное число излучательных переходов в единице объема при межзонной рекомбинации определяется соотношением:

$$N = Bn_p p_{p0} \quad (6.3)$$

где  $B$  – коэффициент рекомбинации;

$n_p$  – неравновесная концентрация электронов в активной p-области;

$p_{p0}$  – равновесная концентрация дырок в этой же области.

Для прямозонных полупроводников  $B \approx 10^{-10}$  см<sup>3</sup>/с, а для непрямозонных  $B \approx 10^{-14}$  см<sup>3</sup>/с.

Мощность теплового шума фотоматрицы  $P$  определяется соотношением:

$$P = 4kT\Delta F \quad (6.4)$$

где  $k$ - постоянная Больцмана,  $T$ - температура (К),  $\Delta F$ - полоса частот

В оптических квантовых приборах усиление образуется за счет индуцированного (вынужденного) излучения при квантовом переходе частиц с верхнего уровня на нижний. По статистике при этом существует три вида переходов между уровнями: спонтанные, индуцированные и тепловые. Число переходов пропорционально населенности этого уровня  $N_i$  и интервалу времени  $dt$ :

$$dn = A_{ik} \cdot N_i dt, \quad (6.5)$$

где  $A_{ik}$  – вероятность спонтанного перехода в 1 с.

Время, через которое населенность  $N_i$  уменьшается в  $e=2,718$  раз по сравнению с начальной величиной, определяется по следующей формуле:

$$\tau_x = 1/A_{ik}, \quad (6.6)$$

т.е.  $\tau$  характеризует время жизни частицы в возбужденном состоянии и называется временем жизни уровня энергии по спонтанным переходам.

Вероятности вынужденных переходов определяются соотношениями:

$$W_{21} = B_{21}\rho_v; \quad W_{12} = B_{12}\rho_v; \quad W_{21} = W_{12}, \quad (6.7)$$

где  $B_{21}$  и  $B_{12}$  – коэффициенты Эйнштейна для вынужденных вероятностных переходов с излучением и поглощением энергии;  $\rho_v$  – единичная объемная плотность энергии внешнего поля, равная 1 Дж/см<sup>2</sup>·с)

$$\rho_v = \frac{\varepsilon \cdot E^2}{2}. \quad (6.8)$$

Между вынужденными и спонтанными переходами существует связь

$$A_{21} = \frac{8\pi h\nu_{21}^3}{c^3} B. \quad (6.9)$$

В вероятностном перераспределении частиц по энергетическим уровням участвуют безызлучательные переходы, являющиеся также вероятным процессом. Причем вероятность переходов сверху вниз больше вероятности снизу вверх:

$$\Gamma_{21} = \Gamma_{12} \left(1 + \frac{h\nu_{21}}{kT}\right). \quad (6.10)$$

Спонтанные переходы определяют ширину естественной спектральной линии, так как

$$\Delta E_i \geq \frac{h}{\tau_2}. \quad (6.11)$$

Форма контура спектральной линии определяется из следующего выражения:

$$g(\nu) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{2(\nu - \nu_0)}{\Delta\nu}\right]^2}}, \quad (6.12)$$

где  $\nu_0$  - центральная частота;  
 $\Delta\nu$  - ширина контура спектральной линии;  
 $\nu$  - текущая частота.

При точных расчетах параметров квантовых систем используют спектральные коэффициенты Эйнштейна. С введением коэффициентов  $a_{ki}, b_{ki}, b_{ik}$  следует уточнить также понятие населенности. Под населенностью  $N_i$  любого уровня следует понимать наиболее вероятное число частиц в единице объема, энергия которых попадает в пределы размытости этого уровня по энергии. Таким образом, числа спонтанных и вынужденных переходов в единичном частотном интервале вблизи частоты  $\nu$  в единицу времени можно записать с использованием дифференциальных коэффициентов Эйнштейна

$$n_{ki} = a_{ki}(\nu)N_k, n_{ki} = b_{ki}(\nu)\rho_\nu N_k \text{ и } n_{ki} = b_{ik}(\nu)\rho_\nu N_i. \quad (6.13)$$

Спектральные коэффициенты должны учитываться при получении закона изменения мощности сигнала в процессе прохождения через вещество

$$P(z_1, \nu_0) = P(0, \nu_0) \exp[-\chi(\nu_0)z], \quad (6.14)$$

где  $P(0, \nu_0)$  - мощность на входе в активное вещество;  
 $\chi(\nu_0)$  - коэффициент, соответствующий центральной частоте, определяемый по формуле:

$$\chi(\nu_0) = \frac{h\nu_0}{\Delta\nu \cdot v_{гр}} (B_{12} \cdot N_1 - B_{21} \cdot N_2), \quad (6.15)$$

где  $v_{гр}$  - групповая скорость волны.

Если  $N_1 > N_2$ , то  $\chi(\nu_0)$  является коэффициентом ослабления, в обратном случае  $\chi(\nu_0)$  - коэффициент усиления. При получении инвертированного состояния  $n_2 > n_1$  вводится и понятие «отрицательной» температуры, определяемое соотношением:

$$T = -\frac{E_2 - E_1}{kLn \frac{n_2}{n_1}}. \quad (6.16)$$

Поглощаемая мощность в активном веществе пропорциональна напряженности поля ( $\omega\tau_1 = \frac{\epsilon E^2 \cdot \tau_1}{2}$ ). В случае слабых полей, когда  $\omega\tau_1 \ll 1$  ( $\tau_1$  - время продольной релаксации), поглощаемая мощность равна

$$P_{погл} = h\nu_{21} (N_1^e - N_2^e) B_{12} \rho_\nu g(\nu). \quad (6.17)$$

Здесь  $N_1^e$  и  $N_2^e$  - населенности уровней в состоянии термодинамического равновесия. В случае сильных полей, когда  $w \tau_1 \gg 1$ ,

$$P_{\text{погл}} = h\nu (N_1^e - N_2^e) \frac{1}{2\tau_1}. \quad (6.18)$$

### Примеры решения типовых задач

**Задача 1.** Населенность верхнего ( $n_j$ ) и нижнего уровней ( $n_i$ ) равна соответственно  $1 \cdot 10^{10}$  и  $0,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ . Кратность вырождения верхнего уровня 2, нижний уровень не вырожден. Возможно ли в рассматриваемой системе усиление? Поглощение?

**Решение.** Отношение чисел частиц на уровнях  $i$  и  $j$  с учетом вырождения:

$$\frac{n_i}{n_j} = \frac{\bar{g}_i}{\bar{g}_j} \exp\left(-\frac{E_i - E_j}{kT}\right).$$

Для температурной зависимости можно записать:

$$T = \frac{E_i - E_j}{k \ln\left(\frac{n_j \tilde{g}_j}{n_i \tilde{g}_i}\right)}. \quad (6.19)$$

Условие усиления  $n_i \tilde{g}_j > n_j \tilde{g}_i$  не выполняется, так как  $\frac{1 \cdot 10^{10}}{2} = 0,5 \cdot 10^{10}$ ,

Ответ: В системе нет ни усиления, ни поглощения.

**Задача 2.** Определить оптимальный коэффициент отражения зеркал  $r_{\text{отр}}$  (зеркала одинаковые) резонатора лазера, позволяющий получить максимальную выходную мощность. Коэффициент ненасыщенного усиления на проход  $G_0$ , коэффициент потерь на проход  $\alpha$ . Длина резонатора  $L$ . Дифракционными потерями можно пренебречь. Для численных оценок считать:  $L = 10 \text{ см}$ ,  $\chi_{\text{анор}}^0 = 0,01 \text{ см}^{-1}$ ,  $\alpha_a = 0,063 \text{ см}^{-1}$ ,  $\mathcal{A}_{\text{тр}} = 2,8 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ . Активная среда заполняет весь резонатор.

**Решение.** Условие стационарных колебаний:

$$\chi_a = \alpha_a + \frac{1}{L} \ln \sqrt{\frac{1}{R_1 R_2}},$$

где  $\chi_a$  – показатель усиления среды,  $\alpha_a$  – потери в активной среде,  $\frac{1}{L} \ln \sqrt{\frac{1}{R_1 R_2}}$  – потери на зеркале ( $\alpha_3$ ), тогда:

$$\chi_{a \text{ опт}} = \frac{1}{L} \ln \sqrt{\frac{1}{R_1 R_2}} + \alpha_a = \chi_{a \text{ пор}}. \quad (6.20)$$

Как следует из (6.20), можно построить зависимость  $P_{\text{изл}} = f(R_1, R_2)$

$$P_{\text{изл}} = \left( \frac{\vartheta_{\text{гр}} LS}{\delta_{12}} \right) (\chi_a^0 - \alpha) (\alpha_3 / \alpha). \quad (6.21)$$

В этом случае не известны размеры активной среды ( $L$ ,  $S$  - соответственно длина активного элемента и поперечное сечение активной среды), поэтому нужно воспользоваться формулой для удельной мощности излучения  $P_{\text{изл.уд}} = f(R_1, R_2)$

$$P_{\text{изл.уд.макс}} = \frac{\vartheta_{\text{гр}} \chi_a^0}{\delta_{12}} \left( 1 - \sqrt{\frac{\alpha_3}{\chi_a^0}} \right)^2, \quad (6.22)$$

где  $\vartheta_{\text{гр}}$  - групповая скорость,  $\delta_{12}$  - параметр нелинейности ( $\delta_{12} \approx 1$ ),  
 $\chi_a^0$  - начальный показатель усиления ( $\chi_a^0 = 0,01 \text{ см}^{-1}$ ).

Ответ: Для получения максимального излучения необходимо использовать зеркала с коэффициентом отражения равным 0,8 ( $r=0,8$ ).

**Задача 3.** Оценить, насколько частота типа колебаний  $TEM_{01}$  отличается от частоты основного типа колебаний  $TEM_{00}$  для пустого резонатора. Резонатор образован плоским и сферическим (радиус кривизны  $R = 100 \text{ см}$ ) зеркалами. Длина резонатора  $L = 50 \text{ см}$ .

**Решение.** Собственные частоты пустого резонатора

$$\nu_{mnq} = \nu_0 \left[ q + \frac{m+n+1}{\pi} \right] \arccos \sqrt{g_1 g_2}, \quad (6.23)$$

где  $\nu_0 = c/2L$ ;  $g_{1,2} = 1 - L/R_{1,2}$ ;  $q, m, n$  - целые числа;

$R_1, R_2$  - радиусы кривизны зеркал;  $L$  - длина резонатора.

$$\nu_{mn} - \nu_{00} = \nu_0 (m+n) \frac{1}{\pi} \arccos \sqrt{g_1 g_2}$$

Следовательно,

Одно из зеркал резонатора плоское, т.е. его  $R = \infty$  и  $g = 1 - \frac{L}{R} = 1$ , для другого зеркала  $g = 0,5$ . Для типа колебаний  $m = 0, n = 1$  имеем:

$$\nu_{01} - \nu_{00} = \frac{c}{2L} \cdot \frac{1}{\pi} \arccos \sqrt{g_1 g_2} = \frac{3 \cdot 10^{10}}{2 \cdot 50 \cdot 3,14} \arccos \sqrt{0,5} = 74,5 \text{ МГц.}$$

Ответ: отличие на 74,5 МГц

**Задача 4** Резонатор оптического квантового генератора образован зеркалами с коэффициентами отражения  $R_1=R_2=0,5$ , расположенными на длине  $L$  друг от друга. Активная среда занимает все пространство между зеркалами.

Как нужно изменить коэффициент квантового усиления активной среды для выполнения условия самовозбуждения генератора, если в резонатор вносится поглотитель, поглощающий 50% падающего на него излучения? (В расчёте не учитывать дифракционные потери на зеркалах и потери излучения в материале активной среды и зеркал.

**Решение.** Пусть от зеркала 1 к зеркалу 2 начинает распространяться волна с интенсивностью  $I_0$ . Если поглотитель расположен на расстоянии  $L_1$  от первого зеркала, то до поглотителя дойдет волна интенсивностью  $I_0 e^{\alpha L_1}$ , где  $\alpha$  - коэффициент квантового усиления активной среды.

Пусть  $\alpha_1$  определяет долю поглощаемой поглотителем интенсивности и тогда после поглотителя интенсивность волны равна:

$$I_0(1 - \alpha_1)e^{\alpha L_1}.$$

Далее волна опять усиливается в среде и на зеркало 2 приходит с интенсивностью

$$I_0(1 - \alpha_1)e^{\alpha L_1}e^{\alpha L_2} = I_0(1 - \alpha_1)e^{\alpha L}.$$

После отражения от зеркала 2 в направлении зеркала 1 будет распространяться волна с интенсивностью

$$R I_0(1 - \alpha_1)e^{\alpha L}.$$

На обратном пути к зеркалу 1 она испытывает усиление в активной среде и поглощение в поглотителе, после отражения от зеркала 1 интенсивность волны составит

$$R^2 I_0(1 - \alpha_1)^2 e^{2\alpha L}.$$

Условие существования в резонаторе самоподдерживающейся волны получается, если приравнять интенсивность исходной волны и волны, совершившей обход резонатора.

$$I_0 = R^2 I_0(1 - \alpha_1)^2 e^{2\alpha L},$$

$$R^2(1 - \alpha_1)^2 e^{2\alpha L} = 1,$$

откуда условие для порогового коэффициента усиления имеет вид:

$$\alpha L = \frac{1}{2} \ln \frac{1}{R^2(1 - \alpha_1)^2} = \ln \frac{1}{R(1 - \alpha_1)}.$$

При отсутствии поглотителя  $\alpha_1 = 0$

$$\alpha_0 L = \ln \frac{1}{R}.$$

Очевидно, что отношение пороговых коэффициентов усиления для среды без поглотителя и с поглотителем будет:

$$\frac{\alpha}{\alpha_0} = \frac{\ln \frac{1}{R(1-\alpha_1)}}{\ln \frac{1}{R}}$$

При  $R=0,5$  и при  $\alpha_1=50\%$

$$\frac{\alpha}{\alpha_0} = 2.$$

Таким образом, пороговый коэффициент усиления среды с поглотителем вдвое выше.

**Ответ:** пороговый коэффициент усиления среды с поглотителем вдвое выше.

### Задачи для самостоятельного решения

**Задача 6.1.** Определить полуволновое напряжение для кристалла ниобата лития на дине волны 532 нм, если показатель преломления обыкновенного луча  $n=2,5$ ,  $r = 3.512 \cdot 10^{-11}$  М/В. Размеры исследуемого кристалла 27,5 x 11,4 x 2,55 (мм).

**Задача 6.2.** Определить интенсивность света, регистрируемого фотоприемником, если максимальная интенсивность света на входе фотоприемника составляет 5 кД (соответствует току 20 мкА), при разности фаз обыкновенного и необыкновенного лучей  $\pi/4$

**Задача 6.3.** Определить полное число излучательных переходов в единице объема при межзонной рекомбинации для прямозонного полупроводника. Принять коэффициент рекомбинации  $B=10^{-2}$ , неравновесная концентрация электронов в активной р-области  $n_p = 10^8$  1/см<sup>3</sup>,  $p_{p0}$  – равновесная концентрация дырок  $p_{p0}=10^{12}$  1/см<sup>3</sup>.

**Задача 6.4.** При токе, протекающем через р-п- переход светодиода, равном 60 мА, выходная мощность равна 0,26 мВт. Считая характеристику линейной, определите выходную мощность светодиода при токе 100 мА.

**Задача 6.5.** Определить мощность теплового шума фотоматрицы на частоте 10 кГц при температуре 20 градусов Цельсия.

Примечание: при решении необходимо использовать формулу (5.4).

**Задача 6.6** Рассчитать доплеровскую ширину линии для гелий-неонового лазера с плоско-параллельным резонатором Фабри-Перо длиной  $L=1$  м и потерями 2% на переходе 1,15 мкм неона.

Примечание: Произведем оценку  $\Delta\nu_D$  с учетом условий задачи:

$$\Delta\nu_D = 2\nu_0 \sqrt{\frac{2kT^0 \ln 2}{Mc^2}},$$

$$\kappa = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} - \text{постоянная Больцмана}; \quad T = 300^0 \text{ К}, \quad M = 2 \cdot 10^{-24} \text{ г},$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad \nu_0 = 1.15 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

**Задача 6.7** Определить добротность резонатора для инфракрасной области диапазона при длине волны  $\lambda = 1 \text{ мкм}$ . Резонатор образован отражающими пластинами на расстоянии  $L = 10 \text{ см}$  с коэффициентом отражения пластин  $r = 95\%$ .

Примечание:

Для решения будем использовать формулу:

$$Q = \frac{2\pi L n_c \nu}{c(1-r)},$$

где  $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ,  $n_c$  - показатель преломления среды, заполняющей резонатор (в нашем случае  $n_c = 1$ ).

**Задача 6.8** Рассчитать добротность  $Q_R$  и время жизни фотона  $\tau_p$  в резонаторе Фабри-Перо с плоскими зеркалами. Расстояние между зеркалами  $L = 1 \text{ м}$ . В резонаторе возбуждается основной тип колебаний  $\text{TEM}_{00}$ , образуемый двумя бегущими навстречу друг другу плоскими волнами ( $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$ ). Среда, заполняющая резонатор, слабо поглощаемая (коэффициент поглощения  $\alpha = 0,001 \text{ см}^{-1}$ ). Коэффициент отражения каждого из зеркал  $r_{\text{отр}} = 95\%$ . Диаметр зеркал много больше диаметра светового пучка, так что дифракционными потерями можно пренебречь.

Примечание:

Добротность резонатора, определяемая потерями в активном элементе и потерями на зеркалах, записывается:

$$Q_R = \frac{2\pi\nu L}{c[\alpha L + (1 - r_{\text{отр}})]} \quad (6.24)$$

время жизни фотона  $\tau_p = Q_R / \nu$ ,  $\nu = c/\lambda = 5 \cdot 10^{14}$ .

**Задача 6.9** Определить и сравнить между собой дифракционные потери типов колебаний  $\text{TEM}_{00}$  (основной тип) и  $\text{TEM}_{01}$  для резонатора с плоскими зеркалами круглой формы. Длина резонатора  $L = 100 \text{ см}$ , длина волны излучения  $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$ , апертурный размер зеркал  $a = 0,5 \text{ см}$ .

Примечание. Сначала нужно оценить число Френеля:

$$N = \frac{a^2}{\lambda \cdot L} = \frac{0,5^2}{0,63 \cdot 10^{-4} \cdot 100} = 39,8 \quad (6.25)$$

Для резонатора с плоскими зеркалами круглой формы при  $N \geq 10$  дифракционные потери за один проход определяются формулой:

$$\alpha_{nm} = 5,23 \cdot 10^{-2} [\lambda_n^{(m+1)}]^2 N^{-3/2}, \quad (6.26)$$

где  $\lambda_n^{(m+1)}$  –  $(m+1)$ -й корень функции Бесселя порядка  $n$ .

**Задача 5.10** Определить и сравнить между собой дифракционные потери типов колебаний  $TEM_{00}$  (основной тип) и  $TEM_{01}$  для резонатора с плоскими зеркалами круглой формы. Длина резонатора  $L = 100$  см, длина волны излучения  $\lambda = 0,63$  мкм, апертурный размер зеркал  $a = 0,5$  см. Как изменятся потери, если длина резонатора будет равна  $L = 10$  см

Примечание. Оценим число Френеля:

$$N = \frac{a^2}{\lambda \cdot L} = \frac{0,5^2}{0,63 \cdot 10^{-4} \cdot 100} = 39,8.$$

Для резонатора с плоскими зеркалами круглой формы при  $N \geq 10$  дифракционные потери за один проход определяются формулой:

$$\alpha_{nm} = 5,23 \cdot 10^{-2} [\lambda_n^{(m+1)}]^2 N^{-3/2},$$

$$\lambda_0^1 \approx 2,40, \quad \lambda_1^1 \approx 3,83$$

где  $\lambda_n^{(m+1)}$  –  $(m+1)$ -й корень функции Бесселя порядка  $n$ .

Для условия задачи  $N^{-3/2} \approx 0,0004$ ,  $\lambda_0^1 \approx 2,40$ ,  $\lambda_1^1 \approx 3,83$ .

Таким образом,  $\alpha_{00} = 1,2 \cdot 10^{-3}$ ,  $\alpha_{01} = 3,1 \cdot 10^{-3}$ .

Ответ: Потери на проход для типа колебаний  $TEM_{01}$  примерно в 2,5 раза выше, чем для основного типа колебаний. При  $L=10$  см прохождение основного типа колебаний увеличится.

## **Занятие 7. Подготовка документации и участие в работе системы менеджмента качества на предприятии. Организация работы малых групп исполнителей**

### **Общие положения**

Основные понятия менеджмента качества. Принципы менеджмента качества. Стандарты серии ИСО 9000 и менеджмент качества.

Основные требования к документации системы менеджмента качества

### Задание

Формирование студентов в группы из 2-3 человек и ознакомление с формами группового проектного обучения (ГПО) по тематикам самостоятельных работ. Приоритетной считается работа с наибольшим процентом выполнения.

Ниже приведены некоторые формы ГПО

ф. ГПО-03

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА к проекту ГПО

Кафедра (подразделение):

Тема проекта:

Сроки выполнения:

Предполагаемые исполнители:

Руководитель –

Состав рабочей группы:

Разработка проекта согласована (заинтересованные структуры):

Назначение:

Основные характеристики:

Анализ состояния дел и имеющихся достижений по тематике проекта.

Новизна предлагаемой разработки.

Ожидаемые результаты:

Оценка возможности реализации разработки и ее рыночной ценности.

Прогноз возможных сроков и направлений практической реализации результатов проекта.

Нужные ассигнования

Источники средств

Руководитель проекта (студент)

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ (ГПО 06)

на выполнение инновационного проекта № \_\_\_\_\_

1. Основание для выполнения проекта: приказ от «\_\_»\_\_ 200\_\_ г., №

2. Наименование проекта: \_\_\_\_\_

3. Цель проекта: \_\_\_\_\_

4. Показатели назначения (технические, научные, экономические и пр.):

5. Исходные данные для проектирования:

6. Источники финансирования и материального обеспечения проекта:

7. Руководитель проекта - \_\_\_\_\_  
 ФИО, должность
8. Ответственный исполнитель проекта: \_\_\_\_\_  
 Фамилия, имя, отчество  
 студента и номер учебной группы
- Члены проектной группы: \_\_\_\_\_  
 Фамилия, имя, отчество  
 студента и номер учебной группы
9. Консультант \_\_\_\_\_  
 ФИО, должность, предприятие
10. Место выполнения проекта (лаборатория ГПО, СКБ, НИИ, и т.д.):
11. Календарный план выполнения проекта.

№ этапа	Наименование №этапа	Содержание работы	Сроки выполнения		Чем заканчивается этап
			Начало	Окончание	
1					отчет
2					Промежуточный отчет, моделирование .
3					

### **Задание**

Студентам предстоит самостоятельно ознакомиться с формами ГПО.

### **Методические указания**

Обратите внимание на форму 20 (инструкции по охране труда) и форму 21 (инструкции по пожарной безопасности)

## **Занятие 8. Разработка документации**

**Задание.** Студентам предстоит составить инструкции по охране труда и инструкции по сервисному обслуживанию установок.

Пример инструкции по охране труда

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 высшего профессионального образования  
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
 УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»**  
 (ТУСУР)

**СОГЛАСОВАНО**

Председатель профкома  
 сотрудников ТУСУР

\_\_\_\_\_ В.П.Алексеев  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Ректор ТУСУР

\_\_\_\_\_ Ю.А. Шурыгин  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

**ИНСТРУКЦИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА**  
**для студентов, проходящих лабораторный практикум**  
**в учебных лабораториях, оснащённых персональными компьютерами**  
**(ПК)**  
 № \_\_\_\_  
 (ИОТ-0\_\_-12)

Разработал:

Должность

\_\_\_\_\_ Ф.И.О.  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

**Согласовано**

Проректор

по административно-хозяйственной работе

\_\_\_\_\_ О.Е. Троян  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014г.

Главный инженер

\_\_\_\_\_ О.А. Теушаков  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

Главный энергетик

\_\_\_\_\_ В.Г.Воротников  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

Начальник юридической службы

\_\_\_\_\_ О.А.Кузьменко  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

Начальник отдела  
 охраны труда

\_\_\_\_\_ Ю.Н. Бабина  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

**Рекомендации по разработке и оформлению инструкций**

*1. Инструкция по охране труда разрабатывается на основе типовой (межотраслевой) инструкции по охране труда для соответствующей профессии (вида работ).*

*2. Термины заменить:*

*«сотрудник» - на «работник»*

*«техника безопасности» - на «требования безопасности»*

*3. Инструкция разрабатывается в двух экземплярах: один хранится в отделе охраны труда, другой – в структурном подразделении. Копии по необходимости.*

*4. Если инструкция распространяется на студента, необходимо согласовать еще и с председателем профсоюзной организации студентов ТУСУР, Д.Н. Буинцевым.*

### **Задание**

1. Студентам следует составить инструкции по сервисному обслуживанию оборудования при наличии нештатных ситуаций (отключение электроэнергии, задымление, и др)

### **Общие инструкции по технике безопасности**

Проведите знакомство с теоретической частью и комплексов деталей и узлов экспериментальной оптической установки. Напоминаем, что обращение с оптическими деталями требует высокой технической культуры.

Выполнение теоретической части работы требует обсуждения с преподавателем результатов разработки схем эксперимента и расчетных данных.

Выполнение экспериментальной части должно сопровождаться обсуждением с преподавателем результатов экспериментов.

## **Занятие 9. Конференция по защите рефератов самостоятельных заданий**

### **Рекомендуется следующая схема доклада**

1. Суть проблемы. Актуальность проблемы. Ее необходимость для народного хозяйства.

2. Литературный обзор периодических изданий не старше 2009 года (10 иностранных, плюс 10 отечественных)

3. Обоснование метода решения (математическое и техническое)

4. Проведенные исследования (теоретические и экспериментальные)

5. Полученные результаты

Выводы

Заключение.

Система оценок за реферат учитывает наличие творческого задания, публикаций, внедрений, уровень математического аппарата, уровень ЭВМ, уровень компьютерной графики и конструирования.

## **Общая схема выполнения задания**

### **Порядок выполнения задания**

Выполнение задания следует начинать с ознакомления и подбора литературы.

Анализ задания производится на основе изучения патентов, периодической литературы, монографий. Следует обратить внимание на новизну задание устройства. Новизна заключается в реализации новых физических принципов, новых физических эффектов, новых путей для достижения цели. При этом благодаря введению новых элементов реализуются новые физические процессы. В записку не имеет смысла переписывать какой-либо текст из учебников, монографий и Интернета. Однако, совершенно необходимо нарисовать эскиз аналога прибора. Следует избегать применения сканерных устройств, так как это лишает студента возможности редактирования и уменьшает уровень компьютерной графики, реализуемый студентом.

По истечении двух недель с момента получения задания, студент должен представить руководителю обзорный материал с эскизами уже имеющихся аналогичных установок, а также техническое предложение по теме задания, которое является результатом анализа задания, обзора литературы и сопровождается эскизами отдельных узлов предполагаемого устройства установки.

Работу над заданием следует выполнять в следующем порядке и в сроки, указанные в приложении Б, здесь же приведена оценка проведенной работы (проценты даны нарастающим итогом).

Первую часть задания студент сдает на проверку руководителю при наличии задания, введения, реферата, обзора литературы более 10 наименований, расчета откачных средств.

Вторую часть задания студент сдает на проверку руководителю при наличии схемы источника частиц и описания принципа его работы, наличия расчета электрофизических параметров, расчета одного из параметров процесса, наличия последовательности технологических операций, наличия экспериментальной и конструкторской части.

### **Проверка и защита задания**

Студент сдает преподавателю законченный задание на предварительную проверку. В присутствии студента проверяется наличие разделов задания. Обязательным является анализ достижений науки и техники, расчеты на ЭВМ, последовательность операций, база данных сертифицированного оборудования.

По реферату оценивается метод решения задачи и параметры необходимого оборудования. Проверяется наличие ссылок на литературу, уровень использования ЭВМ, уровень математического аппарата, соблюдение ГОСТ при оформлении схем и рисунков. Проверяется наличие письменного доклада презентации с докладом и оригинальным рисунком в

форматах bmp, corel, двух оппонентов со стороны студентов. При отсутствии персонального компьютера студент сдает материалы в ручном варианте, однако, титульный лист и программа для расчета должны быть распечатаны. Через два дня студент получает предварительный отзыв на задание о правильности расчетов и ошибках. Число конференций равно числу групп в потоке. Группы для защиты формируются независимо от списочного состава.

### **Интерактивные занятия и их контроль**

Интерактивные занятия занимают 10 часов. Из них: решение ситуационных задач - 6 часов; проведение конференций по индивидуальным заданиям - 4 час.

Студенты группой 2-3 чел (ПК-23) решают задачи из данных своего индивидуального задания, проводят анализ достижений науки и техники (ПК-6), анализируют последовательности технологических операций (ПК-8, ПК-20), и проводят комплектацию установки недостающим сертифицированным оборудованием.

Контроль задания состоит в анализе полученного решения (ПК-15) и трактовке студентом физических процессов и полученных результатов расчетов в электрофизической части (ПК-24).

### **Интерактивные занятия – конференции**

Конференции проводятся по результатам защиты самостоятельных работ. Желательно присутствие коллектива поддержки или ученых. Самостоятельная работа спроектирована так, чтобы студент показал знания, умения, навыки, а также освоение компетенций по анализу достижений в технологии, умению строить последовательности технологических операций, умению проводить расчеты (ПК-9), умению выбрать оборудование для реализации своего задания и снабжать его документацией (ПК-24).

#### **Технология подготовки конференции**

1. Преподаватель проверяет работу, отмечает ошибки и ставит дату приема.
2. Оргкомитет: (старосты групп в потоке) – собирают презентации докладов для просмотра
3. Затем следует проверка ошибок и выносится решение о допуске к конференции.

Защита включает доклад студента (5-7 минут) и ответы на вопросы (5 мин). В докладе сообщается тема задания, техническое задание, краткое содержание работы. Необходимо обосновать актуальность темы, метод выбранных инженерных решений. Особое внимание в докладе следует уделить самостоятельным творческим разработкам, их технико-

экономическому обоснованию. По окончании доклада студенту задаются вопросы, позволяющие оценить, насколько глубоко проработан материал.

В процессе защиты учитываются: самостоятельность работы, оригинальность и тщательность проработки технических решений, качество оформления чертежей и расчетно-пояснительной записки, выполнение ГОСТ, использование ЭВМ в расчетах, полнота и четкость доклада, правильность ответов на вопросы, планомерность работы над заданием и срок защиты (досрочно, в срок, после срока без уважительных причин).

После конференции студентам сообщается оценка. При этом дается краткий анализ задания и доклада, отмечаются достоинства и недостатки задания, высказываются критические замечания и пожелания. Если задание защищается после срока без уважительных причин, то оценка снижается.

### **Критерии оценок за самостоятельное задание**

Оценка отражает учебную (3 балла), творческую (4) и исследовательскую (5баллов) часть.

Для оценки хорошо студент должен отметить в докладе конкретную творческую часть задания, предполагаемую для публикации на студенческой конференции.

Для оценки отлично студент должен отметить творческую и исследовательскую часть, иметь наброски доклада для публикации на студенческой конференции и рекомендацию для участия в конкурсе внутривузовских студенческих работ.

При несогласии студента с оценкой назначается комиссия.

### **Вопросы для самостоятельной проработки лекционного материала**

1. Газета «ПОИСК»: раздел тем для развития народного хозяйства
2. Работа в библиотеке с базами Федерального института патентной собственности
3. Работа в патентном читальном зале для ознакомления со структурой написания патентов.
4. Литература по технологии менеджмента качества
5. Инструкции по сервисному обслуживанию и технике безопасности
6. Периодические журналы (Известия ВУЗов, серия Физика и др по моделированию процессов)

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Специальные вопросы технологии приборов  
оптической электроники

Методические указания к практическим занятиям  
и самостоятельной работе

Усл. печ. л. . Препринт  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники  
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40