

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

Кафедра электронных приборов

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОВ ОПТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Методические указания к практическим занятиям
для студентов направления
«Электроника и наноэлектроника»

Томск 2018

Орликов Леонид Николаевич.

Специальные вопросы технологии приборов оптической электроники: методические указания к практическим занятиям для студентов направления «Электроника и наноэлектроника» / Л. Н. Орликов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2018. - 36 с.

В пособии рассматриваются физические принципы формирования приборов оптической электроники и наноэлектроники; основные приемы построения последовательностей технологических операций при формировании и синтезе оптических материалов; современные технологии, применяемые при производстве приборов оптической электроники и наноэлектроники. Выделены основные пути использования вакуумной, ионно-плазменной, электронно-лучевой и лазерной технологии в изготовлении приборов оптической электроники; рассмотрены основы автоматизации процессов производства приборов и устройств.

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

Содержание

Введение.....	5
Практическое занятие 1. Технология интегральных микросхем, литография	6
1.1 Основные понятия.....	6
1.2 Примеры решения задач по теме	8
1.3 Задачи для проработки темы	8
1.4 Ответы к задачам.....	9
Практическое занятие 2. Специальные вопросы технологии электроввакуумных приборов оптической электроники	10
2.1 Основные понятия.....	10
2.2 Примеры решения задач по теме	11
2.3 Задачи для проработки темы	12
2.4 Ответы к задачам.....	13
Практическое занятие 3. Вакуумная, электронно-лучевая, ионно-лучевая и плазменная технология.....	14
3.1 Основные понятия.....	14
3.2 Примеры решения задач по теме.....	15
3.3 Задачи по проработки темы	16
3.4 Ответы к задачам.....	17
Практическое занятие 4. Автоматизация технологических процессов производства приборов оптической электроники	18
4.1 Основные понятия.....	18
4.2 Примеры решения задач по теме.....	18
4.3 Задачи для проработки темы.....	18
4.4 Ответы к задачам.....	20
Практическое занятие 5. Числовое программное управление в производстве приборов оптической электроники	21
5.1 Основные понятия.....	21
5.2 Примеры решения задач по теме	21
5.3 Задачи для проработки темы	22
5.4 Ответы к задачам.....	23
Практическое занятие 6. Моделирование технологических процессов производства приборов оптической электроники	24
6.1 Основные понятия.....	24
6.2 Примеры решения задач по теме.....	24
6.3 Задачи для проработки темы.....	25
6.4 Ответы к задачам.....	27
Практическое занятие 7. Компьютеризация технологических процессов.....	28

7.1 Основные понятия.....	28
7.2 Примеры решения задач по теме.....	28
7.3 Задачи для решения по теме.....	29
7.4 Ответы к задачам.....	30
Практическое занятие 8. Системы автоматического управления технологическими процессами.....	31
8.1 Основные понятия.....	31
8.2 Примеры решения задач по теме.....	31
8.3 Задачи для решения по теме.....	32
8.4 Ответы к задачам.....	34
Рекомендуемая литература	35

Введение

Специальные вопросы технологии приборов оптической электроники объединяют совокупность знаний о способах переработки и направленного изменения свойств материалов и изделий, и о методах осуществления технологических процессов. *Технологический процесс* является результатом исследований и разработок в следующих областях: общей физики, физики твердого тела, физики тонких пленок, физической химии, кристаллохимии, электрохимии, химической термодинамики, материаловедения, теории взаимодействия высокоэнергетических пучков с поверхностью твердого тела и т. д.

Технология, как наука, имеет своей целью выявления физических, химических, механических и других закономерностей, которые могут быть использованы, для наиболее эффективного производства готового продукта при минимальных материальных и трудовых затратах.

Технология всегда направлена на поиск и выявление новых закономерностей, которые могут быть использованы в производстве, поэтому развитие ее имеет следующую структуру: научное исследование; технологическая разработка материалов изделия; производственное внедрение технологической разработки.

Конечной целью технологии является разработка технологических процессов для массового изготовления изделий.

Специальные вопросы технологии производства приборов оптической электроники неразрывно связаны с конструкцией и принципом действия изделия. Поэтому для понимания особенностей технологического цикла и анализа совокупности, используемых для его осуществления процессов или явлений необходимо, сначала изучить особенности применяемых при их создании материалов. Получение приборов оптической электроники основано на разработке документации и изучении таких разделов как: технология интегральных микросхем, литография, технология электровакуумных приборов оптической электроники, высокие технологии (электронно-лучевая, ионно-лучевая, плазменная), Автоматизация технологических процессов, числовое программное управление в производстве приборов оптической электроники, Моделирование технологических процессов и их компьютеризация, а также изучение систем автоматического управления технологическими процессами

Практическое занятие 1. Технология интегральных микросхем, литография

1.1 Основные понятия

Решение задач цикла связано с теоретическим материалом этой темы.

Время сканирования одного элемента электронорезиста при плотности тока J и коэффициенте чувствительности «к» определяется выражением.

$$T = k/J,$$

где J - А/см²

Длина диффузионного резистора L , или ширина “ b ” в мм для требуемого сопротивления R рассчитываются через поверхностное сопротивление R_{Π} по соотношению

$$R = R_{\Pi} \cdot L/b.$$

Глубина залегания P-n перехода определяется соотношением

$$h = 2 \sqrt{D \cdot t} \sqrt{\ln N_0/N_p},$$

Где D -коэффициент диффузии.

При различии концентраций в 3 порядка эта формула преобразуется к виду:

$$h = 2 \sqrt{D \cdot t} \times 5,6.$$

Энергия фотона для проведения процесса фотолитографии на определенной длине волны рассчитывается по соотношению.

$$E_{\phi} = hc/\lambda, \text{ (Дж)}$$

где $h=6,62 \cdot 10^{-34}$ Вт/с- постоянная Планка,

$c= 3 \cdot 10^8$ м/с - скорость света. Фотолитография чаще проводится в ультрафиолетовом свете на длине волны $0,4 \text{ мкм} = 4 \cdot 10^{-7}$ м.

Энергия электрона, необходимая для проведения процесса электролитографии при напряжении “ U ”, определяется выражением:

$$E = m_e c^2 + eU \text{ [Дж]};$$

Длина волны, соответствующая энергии электрона при проведении процесса электронолитографии при напряжении U определяется соотношением:

$$\lambda = 1,27 / \sqrt{U} \text{ [нм]}.$$

Диффузию часто проводят из пленки, напыленной термовакuumным способом, что соответствует бесконечному источнику. Концентрацию примеси на расстоянии 1 см от поверхности через время t диффузии из напыленной пленки можно определить по соотношению:

$$N = N_0 \operatorname{erf} X / 2 \sqrt{Dt},$$

где N_0 - поверхностная концентрация, $1/\text{см}^3$,
 erf - коэффициент вероятности диффузии
 D - коэффициент диффузии, $1/\text{см}^2$.

Коэффициент диффузии одного материала в другой рассчитывается через энергия активацию процесса (E_a , эВ) и коэффициент стационарной диффузии D_0 по соотношению:

$$D = D_0 (-\exp E_a/kT)$$

где $1\text{эВ} = 1,6\text{E}-19$ Дж; $K = 1,38\text{E}-23$ – постоянная Больцмана.

При электронолитографии начальный диаметр электронного пучка “ d_0 ” может увеличиться на величину “ Δd ” за счет дифракции на фотошаблоне. Увеличение диаметра пучка за счет дифракции определяется выражением:

$$\Delta d = 7,5 / \beta \sqrt{U},$$

где β - угол сходимости пучка (рад)

U - ускоряющее напряжение

Яркость электронного пучка ($\text{кд}/\text{м}^2$) для электронолитографии рассчитывается по соотношению:

$$B = J \times eU / \pi kT,$$

где J - плотность тока эмиссии (A/m^2) при температуре катода T при ускоряющем напряжении U ,

K - постоянная Больцмана, $K= 1,38E-23$

1.2 Примеры решения задач по теме

Задача 1.1.1

Рассчитать время сканирования электронорезиста с числом элементов $N= 10E9$ при плотности тока $J= 1 A/cm^2$. Коэффициент чувствительности принять равным $k= 10E-6$.

Решение. $T=Nk/J$

Ответ: 1000сек

Задача 1.1.2

При ширине резистора $b=5$ мм, рассчитать длину L диффузионного резистора для толстопленочной микросхемы для получения резистора с сопротивлением 100 Ом. Удельное поверхностное сопротивление принять равным $R_p=80$ ом/квадрат.

Решение. $R= R_p \cdot L/b$.

Ответ: 6,2E-3

1.3 Задачи для проработки темы

Задача 1-1. Рассчитать время сканирования электронорезиста с числом элементов $10E8$ при плотности тока $1 A/cm^2$. Коэффициент чувствительности принять равным $10E-6$.

Задача 1-2. При ширине резистора 0,5 мм, рассчитать длину диффузионного резистора для толстопленочной микросхемы для получения резистора с сопротивлением 1 кОм. Удельное поверхностное сопротивление принять равным $R_p=80$ ом/квадрат.

Задача 1-3. Определить глубину легирования полупроводника примесью за время 4 часа при коэффициенте диффузии $E-7$. Допустить, что отношение поверхностной концентрации основных носителей N_0 к концентрации примеси N_p составляет два порядка. Ответ округлить.

Задача 1-4. Рассчитать энергию фотона для проведения процесса фотолитографии на длине волны 0,4 мкм.

Задача 1-5. Рассчитать энергию электрона для проведения процесса электролитографии при напряжении 15 кВ.

Задача 1-6. Рассчитайте длину волны, соответствующую электрону при проведении процесса электролитографии на напряжении 20 кВ.

Задача 1-7. Рассчитайте концентрацию примеси на расстоянии 1 см от поверхности через 2 часа диффузии из напыленной пленки, если поверхностная концентрация $N_0 = 10^{17} \text{ 1/см}^3$. Значение вероятности диффузии равно 0,8, коэффициент диффузии $D = 10 \text{E}7 \text{ 1/см}^2$

Задача 1-8. Рассчитайте коэффициент диффузии титана в танталат висмута при температуре 1000^0 K . Энергия активации процесса $E_a = 4,2 \text{ эВ}$, Коэффициент стационарной диффузии $D_0 = 1 \text{E}10$.

Задача 1-9. Диаметр электронного пучка для литографии составляет $d_0 = 10,25 \text{ мкм}$. Рассчитать возможный диаметр пучка с учетом дифракции электронов на фотошаблоне. Угол сходимости пучка $\theta = 0,1 \text{ рад}$. Ускоряющее напряжение равно 10 кВ.

Задача 1-10. Рассчитать яркость электронного пучка для электролитографии, если плотность тока эмиссии при температуре катода 2000^0 K равна 1 A/м^2 при ускоряющем напряжении 10 кВ

1.4 Ответы к задачам

Задача	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5
Ответ	100	6,2E-3	0,35	5E-20	8,33E-14
Задача	1-6	1-7	1-8	1-9	1-0
Ответ	8,9E-3	1,5E11	1,26E12	11	1,8E3

Практическое занятие 2. Специальные вопросы технологии электровакуумных приборов оптической электроники

2.1 Основные понятия

Коэффициент обратимости геттера R – это отношение количества газа при прогреве геттера к количеству газа, поглощаемого геттером в первоначальном состоянии:

$$R = Q_{\text{выд}} / Q_{\text{погл}}$$

Константа проницаемости K_0 газа в металле определяется произведением коэффициента диффузии газа в металле D_0 на константу растворимости газа в металле S_0 , Пам³/кг.

$$K_0 = D_0 S_0.$$

Для масс-спектрометра типа омегатрона произведение разрешающей способности прибора R на регистрируемое массовое число M – есть величина постоянная ($RM = \text{const}$). Разрешающая способность по массовому числу $\Delta M = M/R$.

Температура отжига паяных изделий составляет 75% от температуры плавления припоя ($T_{\text{отж}} = 0,75 T_{\text{пл. припоя}}$)

Давление P (мкм рт ст), которое установится в электровакуумном приборе в процессе работы геттера, определяется соотношением:

$$P = G/kS,$$

где G – скорость объемного поглощения, лмкм/с, k – коэффициент поглощения, S – площадь геттера, см²

Количество газа Q , поглощенного геттером, пропорционально константе растворимости газа в геттере, площади геттера S , времени t и давлению P и определяется соотношением

$$Q = kSPt.$$

Величина смещения торца керамики относительно металла в металлокерамическом спае радиусом R при температуре T пропорциональна

разности температурных коэффициентов линейного расширения материалов α и определяется соотношением:

$$\Delta = \alpha \Delta T R, [\text{м}],$$

где ΔT - разность температур от точки твердения припоя до комнатной.

Толщина стенки колбы S электровакуумного прибора диаметром D рассчитывается из условия прочности и давления в окружающей среде. При допустимом напряжении разрушения σ толщина стенки прибора и допуске на отклонение толщины C определяется выражением:

$$S = (\text{Рокр} \times D / 2\sigma) + C,$$

где Рокр - окружающее давление, [атм]

D - [м], σ - [кг/мм²]

Скорость поглощения газа геттером V пропорциональна константе поглощения k а также корню квадратному от давления и определяется соотношением:

$$V = k \sqrt{P}$$

Критический коэффициент температурного расширения керамики σ_T , спаянной с металлом, при относительном удлинении ε и модуле упругости E определяется выражением:

$$\sigma_T = \varepsilon E;$$

2.2 Примеры решения задач по теме

Задача 2.1.1. Геттером электродугового насоса поглощено газа в количестве $Q_{\text{погл}} = 6 \cdot 10^{-5}$ Па м³/с. При прогреве насоса стационарный поток поглощения составил $Q_{\text{погл}} = 2 \cdot 10^{-5}$. Рассчитать коэффициент обратимости геттера относительно исходного состояния.

Решение $R = Q_{\text{выд}} / Q_{\text{погл}}$; $Q_{\text{выд}} = Q_{\text{погл}1} - Q_{\text{погл}2} = (6 - 2) \cdot 10^{-5} = 4 \cdot 10^{-5}$

Ответ: $R = (4 \cdot 10^{-5}) / (6 \cdot 10^{-5}) = 0,66$.

Задача 2.1.2 Измеритель парциальных давлений типа омегатрон подсоединен к приемно-усилительной лампе. Определить разрешающую

способность по массовому числу омегатрона (ΔM) в области 44 массового числа (CO_2), если известно, что для $M=18$ (H_2O) разрешающая способность прибора $R=22$

Решение. Из уравнений для омегатрона известно, что $RM=\text{const}$. Подставляя значения имеем $RM=22 \times 18 = \text{const} = 396$, тогда для H_2O $\Delta M = M/R = 18/22 = 0,81$.

Для случая CO_2 имеем $R_2 M_2 = \text{const} = 396$ находим $R_2 = 396/44 = 9$;

В итоге имеем $\Delta M = 44/9 = 4,8$

Ответ: 4,8.

2.3 Задачи для проработки темы

Задача 2.1. Геттером электродугового насоса поглощено газа в количестве 8×10^{-5} Па м³/с. При прогреве насоса стационарный поток поглощения составил 2×10^{-5} . Рассчитать коэффициент обратимости геттера относительно исходного состояния.

Задача 2.2. Определить коэффициент диффузии водорода в железном аноде приемно-усилительной лампы. Если константа проницаемости $K_0 = 3,4 \times 10^{-8}$, а растворимость водорода в железе составляет $S_0 = 0,17$ Па м³/кг

Задача 2.3. Измеритель парциальных давлений типа омегатрон подсоединен к приемно-усилительной лампе. Определить разрешающую способность по массовому числу омегатрона (ΔM) в области 44 массового числа (CO_2), если известно, что для $M=18$ (H_2O) разрешающая способность прибора $R=20$

Задача 2.4. Определить температуру отжига паяных металлокерамических ламп, если они спаяны медносеребряным припоем с температурой плавления 1000°K .

Задача 2.5. Какое остаточное давление установится в колбе радиолампы, если по истечении очень длительного времени работы геттера на площади $S=10$ см² скорость объемного поглощения $G=10^{-6}$ лмк/с.? Константа поглощения $K=1$. Ответ дать в мм рт ст.

Задача 2.6. Определить количество газа, поглощенного геттером площадью $E-2 \text{ м}^2$ за 20 сек при давлении $E-4 \text{ Па}$. Скорость поглощения газа считать линейной с константой растворимости $K=1$.

Задача 2.7. Найти величину смещения торца керамики относительно металла в металлокерамическом спае радиусом $R=0,1\text{м}$ при температуре 1800^0 К , если разность температурных коэффициентов линейного расширения материалов равна $3E-7 \text{ 1/град}$

Задача 2.8. Рассчитайте толщину S стенки колбы радиолампы диаметром $D= 1 \text{ см}$ из условия прочности, если лампа работает в барокамере с давлением $P_{окр}= 0,8 \text{ атм}$. Допустимое напряжение на разрушение $\sigma=12\text{кг/мм}^2$. Технологический допуск на отклонение толщины $C=0,1 \text{ мм}$.

Задача 2.9. Насколько увеличится скорость поглощения газа титановым геттером, если начальное давление в колбе увеличится на порядок (в 10 раз). Константу скорости поглощения считать постоянной.

Задача 2.10. Рассчитать критический коэффициент температурного расширения керамики спаянной с металлов, если относительное удлинение $\varepsilon=20\%$ при модуле упругости $E=E-3 \text{ кг/мм}^2$.

2.4 Ответы к задачам

Задача	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Ответ	0,75	$2E-7$	0,95	750	$E-8$
Задача	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
Ответ	2	$3E-6$	0,8	3,16	$2E-4$

Практическое занятие 3. Вакуумная, электронно-лучевая, ионно-лучевая и плазменная технология

3.1 Основные понятия

Унос массы "m" при эрозии электродов определяется соотношением:

$$m=GI t,$$

где G-удельная эрозия материала; I-ток в амперах; t-время, секунды

Унос массы пропорционален объему эрозии V: $m=\rho V$

Энерговклад Q от действия пучка, измеряемый калориметрированием, определяется соотношением:

$$Q= Cm \Delta T,$$

Где C- удельная теплоемкость материала калориметра (для меди $C=0,38$), m- масса калориметра, ΔT -изменение температуры калориметра вследствие воздействия пучка. Энерговклад от действия пучка, оцениваемый электрическим способом (по осциллограмме), рассчитывается по соотношению:

$$Q=UI \Delta t,$$

где t- длительность импульса.

Ларморовский радиус траектории электрона рассчитывается по формуле:

$$R= V' m/ezB,$$

Где V'-скорость, перпендикулярная линиям магнитного поля.

$$V' = 5,9E5 \sqrt{U},$$

где Z-кратность заряда (в первом приближении $Z=1$), e- заряд электрона, $e=1,6E-19$ кл.

Диаметр зерна порошка (dмкм) по занимаемой им удельной поверхности S ($см^2/г$) и плотности "б" ($г/см^3$) определяется по соотношению:

$$d=6000/S \times \text{б};$$

Условную пористость плазмонапыленного покрытия в относительных единицах (Ротн) можно определить, зная массу сухого образца в воздухе Мс, массу образца в пиктометрической жидкости Мж, массу насыщенного образца в воздухе Мн используя соотношение:

$$P(\text{отн}) = \frac{M_c}{M_n - M_j}.$$

Расход воды G (л/с) для охлаждения плазмотрона при разности ее температур на входе и выходе (Т2-Т1) рассчитывается по соотношению:

$$G = Q / C(T_2 - T_1).$$

где Q- Тепловой поток в стенку плазмотрона, Вт

C - Удельная теплоемкость воды. C=4,2Е3 Дж/кг град.

Масса материала “m”, уносимая с катода за время t при горении дуги определяется скоростью эрозии Vэ и плотностью материала ρ:

$$m = \rho V_{\text{э}} t$$

Время (ресурс) работы катода дугового распылительного устройства определяется соотношением:

$$t = m / IG,$$

где m-унос массы, I- рабочий ток, G-удельная эрозия

Баланс энергии плазмотрона определяется выражением:

$$UI_{\eta} = G(h_1 - h_2),$$

где η=(0,6-0,75)-энергетический КПД плазменной струи.

G- расход газа (кг).

3.2 Примеры решения задач по теме

Задача 3.1.1. Рассчитать срок службы медного катода вакуумно-дугового источника ионов для установки типа “Булат” для тока 100 А , если

он ограничен уносом массы 20% от первоначальной. Принять удельную эрозию меди $G=7E-12$ кг/кулон. Объем эрозии $2E-7$ м³.

Решение. Унос массы "m" при эрозии электродов определяется соотношением:

$$m=GI t, \quad (3.1)$$

где G-удельная эрозия материала; I-ток в амперах; t-время, секунды

Унос массы пропорционален объему эрозии V:

$$m=\rho V \quad (8.2)$$

Выражая время из (8.1) и подставляя 0,2 от массы, определенной по уравнению (8.2), находим время в секундах и переводим его в часы

Ответ: 100 часов.

Задача 3.1.2. Рассчитать Ларморовский радиус траектории электрона в магнетроне с магнитной индукцией 0,1 Тл, работающем при напряжении 5 кВ.

Решение. Ларморовский радиус траектории электрона рассчитывается по формуле: $R= V' m / e z B$, где V' -скорость, перпендикулярная линиям магнитного поля. $V'= 5,9E5 \sqrt{U}$, Z-кратность заряда (в первом приближении $Z=1$), e-заряд электрона, $e=1,6E-19$ кл.

Ответ: $4E-3$

3.3 Задачи по проработки темы

Задача 3.1. Рассчитать срок службы медного катода вакуумно-дугового источника ионов для установки типа "Булат" для тока 100 А, если он ограничен уносом массы 20% от первоначальной. Принять удельную эрозию меди $G=7E-12$ кг/кулон. Объем эрозии $2E-7$ м³.

Задача 3.2. Рассчитать коэффициент пересчета между измерением энерговклада калориметрическим и электрическим способом. Форму импульса принять прямоугольной. Ускоряющее напряжение 100 кВ, ток ионов 1 кА, длительность импульса 10 мкс. Масса калориметра 0,366 кг, удельная теплоемкость калориметра 0,39. Изменение температуры калориметра 7 градусов.

Задача 3.3. Рассчитать Ларморовский радиус траектории электрона в магнетроне с магнитной индукцией 0,2 Тл, работающем при напряжении 5 кВ.

Задача 3.4. Рассчитайте диаметр зерна (d , мкм) испытуемого порошка, если при плотности порошка $\rho = 3 \text{ г/см}^3$ он занял удельную поверхность $S = 0,5 \text{ Е}3 \text{ см}^2/\text{г}$

Задача 3.5. В относительных единицах рассчитайте условную пористость плазмонапыленного покрытия, если масса сухого образца в воздухе $M_c = 100 \text{ г}$, масса образца в пиктометрической жидкости $M_{ж} = 50 \text{ г}$, масса насыщенного образца в воздухе $M_n = 70 \text{ г}$

Задача 3.6. Рассчитать тепловой поток на катод плазмотрона из гафния для тока 200 А, если его величина описывается уравнением:

$$Q = 585 + 2,6 I \text{ (Вт)}$$

Задача 3.7. Тепловой поток в стенку плазмотрона составляет $Q = 25 \text{ Вт}$. Рассчитать расход воды G (л/с) для охлаждения при разности температур на входе и выходе 20 градусов. Удельная теплоемкость воды $C = 4,2 \text{ Е}3 \text{ Дж/кг град}$.

Задача 3.8. Определить массу материала, уносимого с медного анода плазмотрона за 1 час работы, если скорость эрозии за это время составила $V_{\text{э}} = 1,3 \text{ Е-}8 \text{ кг/м}^3$ в секунду. Плотность меди $\rho = 8,9 \text{ Е}3 \text{ кг/м}^3$.

Задача 3.9. Рассчитать ресурс работы катода плазмотрона, если унос материала составил $m = 0,116 \text{ кг}$ при удельной эрозии $G = 5 \text{ Е-}10 \text{ кг}$ и токе 250 А.

Задача 3.10. Рассчитать необходимый расход газа в плазмотрон, обеспечивающий энергию струи $6,6 \text{ Е}5 \text{ Дж}$ с потерей теплосодержания “h” от $4 \text{ Е}6 \text{ Дж/кг}$ до $6 \text{ Е}6 \text{ Дж/кг}$.

3.4 Ответы к задачам

Задача	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
Ответ	100	1000	$2 \text{ Е-}3$	4	4
Задача	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
Ответ	1105	0,295	0,0694	258	$1,4 \text{ Е-}2$

Практическое занятие 4. Автоматизация технологических процессов производства приборов оптической электроники

4.1 Основные понятия

При решении задач рекомендуется просмотреть теоретический материал по теме, построить график процесса, проанализировать известные и неизвестные величины уравнения отслеживаемого параметра. Полезно подставить в исходное уравнение известные величины, проанализировать и сопоставить значения остальных величин. Следует обратить внимание на соблюдение единиц измерения. Если единицы измерения не приводятся, то следует применять систему “СИ”.

4.2 Примеры решения задач по теме

Задача 4.1.1. Вакуумное реле выполняет команду отключения ионизационного датчика при выполнении параметра давления $P = 0,1$ Па. В вакуумной камере объемом $V = 1\text{ м}^3$, откачиваемой насосом с производительностью $S = 0,2\text{ м}^3$ до давления $0,01$ Па образовалась течь. Определите, через какое время включится реле. Уравнение потока откачки: $Q = PS$. Уравнение натекания: $Q = V \int dP/dt = V \Delta P / \Delta t$

Решение. Поток откачки определится уравнением $Q = PS$; Поток натекания определится: $Q = V \int dP/dt = V \Delta P / \Delta t$.

Ответ: 0,2сек

Задача 4.1.2. Закон регулирования напряжения генератора на частоте 50 Гц задан функциями: $x = A \sin \omega t + 0,5$; $Y = dx/dt$. Определить значение Y при амплитуде сигнала $A = 2$ В и угловой частоте $\omega t = \pi/4$.

Решение. Значение Y это производная от первого уравнения. Цифра 2 в первом уравнении есть амплитуда сигнала. Дифференцируя исходное уравнение получим: $Y = A \omega \cos \omega t = 2 \times 314 \times \cos 45^\circ = 444$.

4.3 Задачи для проработки темы

Задача 4.1. При входе в процесс диффузии в системе время-параметр через 20 минут температура прогрева образца составила 200 градусов. Через сколько минут следует перейти на систему время-команда, чтобы отключить прогрев при достижении 1000 градусов.

Задача 4.2. Вакуумное реле выполняет команду отключения ионизационного датчика при выполнении параметра давления $P = 0,1$ Па. В вакуумной камере объемом $V = 1 \text{ м}^3$, откачиваемой насосом с производительностью $S = 0,2 \text{ м}^3$ до давления $0,01$ Па образовалась течь. Определите, через какое время реле отключит вакуумный насос. Уравнение потока откачки: $Q = PS$. Уравнение натекания: $Q = V \int dP/dt = V \Delta P / \Delta t$

Задача 4.3. Рассчитать число мест, которые может обслужить робот, если уровень автоматизации операции без робота составлял $a = 80\%$. Коэффициент использования робота $K_p = 30\%$. Уравнение мест:

$$n = 1 / (1 - a + K_p).$$

Задача 4.4. Автомат предотвращает температурную деформацию сопла плазмотрона путем отслеживания напряженности электрического поля по уравнению: $E = 4,8 I^{0,5} \times P^{0,5}$; E -в/м, I -амперы, P - Па. Определить значение контролируемого параметра при токе 100 А и атмосферном давлении в канале плазмотрона.

Задача 4.5. Система децентрализованного управления первого уровня отключает плазмотрон при повышении потерь на катоде $Q > 1000$ Вт. При каком токе система отключит плазмотрон с вольфрамовым катодом, если тепловой поток на катод Q описывается уравнением:

$$Q = 585 + 3,8 \times I, \text{ Вт?}$$

Задача 4.6. Определить яркость свечения люминофора на фотодиод в системе автоматического управления, если ускоряющее напряжение $U = 10$ кВ, а плотность тока $J = 5 \text{ А/м}^2$. Пороговая энергия возбуждения люминофора $U_0 = 500$ В. Управление осуществляется по уравнению $V = kJ(U - U_0)^n$, где $k = 1$ постоянная системы, J -плотность тока, $n = 0,5$ -характеристика люминофора.

Задача 4.7. Изодромное звено сглаживает и опережает сигнал по функции:

$$K_c = -0,2U + 0,1U - 0,4U + 0,7U$$

Определить коэффициент сглаживания, если $U = 1$.

Задача 4.8. Найти координату смещения руки робота осуществляемой по функции:

$$Y_{см} = X_0 + (X \cdot t_i / (X + 5))N,$$

если $X_0=200$, $X=20$, $t_i=2,5$ -цена импульса смещения, $N=10$ -число корректирующих шагов.

Задача 4.9. Закон регулирования напряжения генератора на частоте 50 Гц задан функциями: $X=A \sin \omega t + 0,5$; $Y=dx/dt$. Определить значение Y при амплитуде сигнала $A=2$ В и угловой частоте $\omega t = \pi / 4$

Задача 4.10. Сигнал с ионизационного датчика давления обслуживается линейным интегратором с ценой импульса 2 мВ. При давлении 0,001 Па отсчет соответствует 10000 импульсов. Какое давление установилось в системе, если напряжение на выходе интегратора 1 В.?

4.4 Ответы к задачам

Задача	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
Ответ	100	0,2	2	1,5E4	109,2
Задача	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10
Ответ	487	0,2	210	444	1,1

Практическое занятие 5. Числовое программное управление в производстве приборов оптической электроники

5.1 Основные понятия

Для решения задач этой темы рекомендуется составить масштабный эскиз выполнения операции, проанализировать значения функций при изменении координат. Желательно провести оценку координат траектории при изменении параметров системы. Целесообразно провести анализ типа средств пересчета координат: круговой или линейный интерполятор, функциональный преобразователь и тд. Круг задач, решаемых системами числового программного управления подобен друг другу. Например задачи, решаемые системой кругового интерполятора подобны решениям векторов в полярной системе координат, а задачи с использованием цифрового дифференциального анализатора подобны задачам на приращения значений функций.

Полезно проанализировать тип выполняемой программы. Например: программа с непрерывным изменением аргумента - это отрезка детали или ее проточка в виде цилиндра. Программа с подпрограммой - это две операции. Координата начала второй операции начнет отсчитываться после выполнения первой операции. Таким образом выполнится перебазировка координат под вторую операцию. Рекомендуются геометрические построения заданных уравнений. При расчете поправок установки координат следует помнить, что общая погрешность вычисляется как квадратный корень из сумм квадратов отдельных погрешностей.

5.2 Примеры решения задач по теме

Задача 5.1.1. На станке с ЧПУ выполняется программа линейной обработки кристалла по базовой координате $Y=4\text{мм}$. Начиная с координаты $X=200\text{мм}$ путем перезадавания координаты «X» и «Y» кратно 1 мм выполняется подпрограмма оформления отрезки по уравнению окружности $X^2+Y^2=R^2$. На какой координате «X» кристалл будет перерезан?

Решение. Проводим перебазировку координат относительно поверхности. Подставляя в уравнение значения $X=0, Y=0$; $X=1, Y=1$; $X=2, Y=2$; $X=3, Y=3$.

Находим радиус окружности как квадратный корень из R. При $X=3$ и $Y=3$ находим, что $\sqrt{R}>4$.

Следовательно, деталь будет перерезана при $X=200+3=203$ мм. Ответ: 203.

Задача 5.1.2. Точка прихода руки робота выполнена по программе линейного интерполятора на цифровом дифференциальном анализаторе (ЦДА) и реализует зависимости типа: $X=b_x t$; $Y=b_y t$. При координате $X=250$ приращение $b_x=0,5$ мм. Считая интерполятор двухкоординатным, определить координату “ Y ”, если ее приращение $b_y=0,1$.

Решение. По координате X определяется значение общего параметра “ t ”. $t=250/0,5=500$; $Y=0,2 \times 500=100$. Ответ: 100.

5.3 Задачи для проработки темы

Задача 5.1. Обработка торца детали на станке ЧПУ проводится по третьему члену полинома Лагранжа, имеющему вид шаровой функции:

$$Y(x) = 0,5(5X^3 - 3x).$$

Определить значение координаты выхода резца из детали при $x=2$, если выполняется программа с непрерывным изменением аргумента.

Задача 5.2. На токарном станке с ЧПУ выполняется программа линейной обработки детали по базовой координате $Y=4$ мм. Начиная с координаты $X=200$ мм путем перезадавания координаты « X » и « Y » кратно 1 мм выполняется подпрограмма оформления отрезки по уравнению окружности $X^2+Y^2=R^2$. На какой координате “ X ” деталь будет перерезана?

Задача 5.3. Токарный станок с ЧПУ проводит изготовление конусов с углом при вершине 90 градусов из прутка диаметром 50 мм. Пренебрегая толщиной реза, определить константу перебазировки координаты “ X ”

Задача 5.4. Рассчитать поправку коррекции программы, если погрешность настройки инструмента $b_1=0,02$ мм, погрешность перебазировки координат $b_2=0,01$ мм, погрешность обработки $b_3=0,04$ мм.

Задача 5.5. На станке с ЧПУ изготавливаются детали диаметром 50 мм длиной 500 мм. После координаты $X=500$ производится отрезка под углом 45

градусов. Определить координату перебазирования “Х” ,когда деталь полностью отрежется.

Задача 5.6. Точка прихода пальца робота выполнена по программе линейного интерполятора на цифровом дифференциальном анализаторе (ЦДА) и реализует зависимости типа: $X = b_x t$; $Y = b_y t$. При координате $X=250$ приращение $b_x=0,5$ мм. Считая интерполятор двух координатным, определить координату “У”, если ее приращение $b_y=0,1$.

Задача 5.7. Вычислить координату “У” конечной точки вектора, если цена импульса аргумента $\omega = \pi/4$, а число импульсов аргумента $t=2$. Программа реализована по принципу кругового интерполятора на цифровом дифференциальном анализаторе (ЦДА) для вектора длиной $R=100$ мм.

Задача 5.8. Приращение координаты руки робота задается оценочной функцией: $b_z = x^2 + y^2 + 4$. Вычислить общую длину вектора, если значение общего параметра равно 10, при шаге координат $X=2$, $Y=3$

Задача 5.9. Управление скоростью резания осуществляется по формуле $n=f/kR$, где n -об/мин, f - тактовая частота, гц, k - коэффициент деления сумматора, R -радиус резания, мм. Определить число оборотов шпинделя токарного станка на расстоянии 2 мм от оси вращения, если тактовая частота управляющих импульсов $f=1000$ гц, а коэффициент деления сумматора $K=2$.

Задача 5.10. Настройка фрезерного станка на прямоугольный отрез выполняется при координатах: $X=20$, $Y=30$ и заканчивается, когда выполняется теорема Пифагора ($r^2=x^2+y^2$).

Определить время настройки фрезерного станка на прямоугольный отрез, если тактовая частота генератора $t_i=1$ кГц, а коэффициент деления сумматора $K=2$.

5.4 Ответы к задачам

Задача	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5
Ответ	17	203	35,3	4,5E-2	525
Задача	5.6	5.7	5.8	5.9	5.10
Ответ	100	100	170	250	2,6

Практическое занятие 6. Моделирование технологических процессов производства приборов оптической электроники

6.1 Основные понятия

Задачи по теме моделирование технологических процессов рассчитаны на закрепление материала в области математического описания процессов. Для решения задач этой темы рекомендуется прочитать лекционный материал, проанализировать уравнение, моделирующее фрагмент процесса. Рекомендуется также провести лексический анализ задачи, заключающийся в ее понятии своими словами. Следует проанализировать размерности входящих в уравнения величин. Очень важно проанализировать основные понятия темы: адекватность, принцип Кюри, коэффициенты пригодности и асимметрии.

При расчете асимметрии учитывается желаемое значение параметра d_2 , и допустимое $d_{1\text{доп}}$. Для каждого желаемого значения d_2 задается коэффициент пригодности k_t ($0 \leq k_t \leq 1$), от единицы до нуля. При подсчете асимметрии рассматривается произведение d_2k (при положительной асимметрии) или отношение d_2k (при отрицательной асимметрии). Важно оценить надежность предлагаемой зависимости и вероятность отказа работы системы по предлагаемому уравнению для моделирования процесса.

Произведение коэффициентов адекватности дает оценку общей адекватности к процессу.

$$A_o = [\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4]$$

Задачи данной темы содержат формулы, описывающие наиболее распространенные технологические процессы. Фрагменты задач могут быть использованы в самостоятельном задании.

6.2 Примеры решения задач по теме

Задача 6.1.1. В автоматизированной системе управления ток анода электронной лампы (диода) при напряжении $U_{1=} = 20$ В составляет 10 мА и определяется выражением

$$I_a = gU_a^{3/2},$$

где g -постоянная лампы

Каким станет ток анода, если напряжение на аноде возрастет от 20 до 40 В.

Решение. $I_1 = gU_1^{3/2}$; $I_2 = gU_2^{3/2}$

Из отношения одного выражения к другому находим: $I_2 = I_1 U_2^{3/2} / U_1^{3/2}$

Ответ: 28,28 мА \approx 28 мА.

Задача 6.1.2. При термовакuumном испарении испарилась навеска алюминия весом $G=1\text{E-}1$ г. При расстоянии до подложки $L=10$ см определить толщину пленки d , если изменение ее толщины определяется формулой: $d=G/4\pi L\rho$ (мм). Плотность алюминия $\rho=2,7$ г/см³.

Решение. $d=10^{-1}/4\pi \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 2,7=0,00029=0,29$ мкм

6.3 Задачи для проработки темы

Задача 6.1. Рассчитать предполагаемый коэффициент стабильности процесса, если дисперсия мгновенного распределения контролируемого параметра $\sigma_m=0,1$, а средне квадратичное отклонение всех параметров $\sigma=0,8$.

Задача 6.2. Рассчитать ресурс работы катода плазмотрона, при уносе материала $m=0,116$ кг, удельной эрозии $G=5 \cdot 10^{-10}$ кг и $I=250$ А, если предельный срок работы определяется уравнением: $t=m/I \cdot G$.

Задача 6.3. Рассчитать плотность электронного тока J , которую можно извлечь из плазмы источника на основе тлеющего разряда с объемной концентрацией $n_e=10^{16}$ 1/м³, если плотность тока извлеченного с границы плазмы, определяется по формуле: $J = \frac{1}{4} n_e \cdot e \cdot \sqrt{8kT_e / \pi m}$ [А/см²], где n_e - концентрация электронов в плазме 1/м³; $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл- заряд электрона; $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ - постоянная Больцмана; T_e - температура электронного газа (принять равной 10^4); $m=9,1 \cdot 10^{-31}$ кг - масса электрона.

Задача 6.4. Рассчитайте концентрацию примеси на расстоянии 1 см от поверхности через 2 часа диффузии из пленки, если поверхностная концентрация $N_0=10^{17}$ 1/см³. Значение вероятности диффузии $\text{erf}=0,8$. Коэффициент диффузии $D=10 \cdot 10^7$ 1/см². Диффузия происходит из бесконечного источника по уравнению:

$$N = N_0 \cdot \text{erf} \cdot X / 2\sqrt{Dt} .$$

Задача 6.5. Проводимость отверстия на вязкостном режиме равна 0,02 м³/с, а на молекулярном режиме 0,0125 м³/с. Определить проводимость на молекулярно-вязкостном режиме, если общая проводимость определяется

уравнением: $U_{мв} = U_{в} + 0,8 U_{м}$

Задача 6.6. Какое остаточное давление P установится в колбе радиолампы, если по истечении очень длительного времени работы геттера на площади $S = 10 \text{ см}^2$ скорость объемного поглощения составила $G = 10^{-6}$ лмк/с., а изменение давления происходит по уравнению:

$$P = G/kS,$$

где G - лмк/с, S - см^2 . Константа поглощения $k = 1$. Ответ дать в мм рт ст.

Задача 6.7. Рассчитать предполагаемую скорость травления V изделий из стали $\rho = 7,6 \text{ г/см}^3$ при использовании в качестве ионообразующего газа аргона с плотностью ионного тока $J = 1 \text{ А/м}^2$. Принять, что скорость травления рассчитывается по формуле:

$$V = (6,23 \times 10^{25} J k M_i) / (N \rho).$$

Коэффициент травления принять равным $k = 10^{-4}$. Число Авогадро $N = 6 \times 10^{23}$, M_i -масса иона (для аргона $M_i = 40$).

Задача 6.8. Анодный ток диода выражается зависимостью $I_a = kU^n$. Определить коэффициент k и показатель степени n , если известно, что при анодном напряжении $U = 100 \text{ В}$ – анодный ток $I_a = 10 \text{ мА}$, а при анодном напряжении $U = 10 \text{ В}$ – анодный ток $I_a = 30 \text{ мА}$.

Задача 6.9. Определить время откачки сосуда объемом $V = 0,1 \text{ м}^3$ от давления $P_1 = 10 \cdot 10^5 \text{ Па}$ до $P_2 = 100 \text{ Па}$, если эффективная скорость откачки насоса в диапазоне от $10 \cdot 10^5$ до 100 Па составляет $S_s = 3 \text{ л/с}$. Откачка проводится по уравнению:

$$t = V/S_s \ln(P_1/P_2).$$

Задача 6.10. Определить абсолютную величину изобарного потенциала ΔZ (Кдж) процесса формирования TiO_2 при напылении титана. Температура испарителя $T = 1400^\circ \text{ К}$, парциальное давление паров кислорода $P_i = 1,1 \text{ Па}$. Изобарный потенциал определяется уравнением $\Delta Z = -RT \ln P_i$; $R = 8,3 \text{ Дж/моль}^\circ \text{ К}$.

6.4 Ответы к задачам

Задача 6.1. $Kc = \bar{b}m / \Sigma \bar{b}$; Ответ: 0,125.

Задача 6.2. $t = m / IG = 0,116 / 250 \times 5 \times 10^{-10} = 258 \text{ ч}$. Ответ: 258

Задача 6.3. Ответ: 70 мА/см².

Задача 6.4. Ответ: 1,5 E11

Задача 6.5. Ответ: 3E-2.

Задача 6.6. Ответ: E-8

Задача 6.7. Ответ: 52 E-6

Задача 6.8. Ответ: $k = 9E-6$; $n = 1,5$

Задача 6.9. $t = V / S \Delta (\ln P_1 / P_2)$; $t = 100 / 3 (11,51 / 4,6) = 82,6 \text{ сек}$

Задача 6.10. Ответ: 1107,5.

Практическое занятие 7. Компьютеризация технологических процессов

7.1 Основные понятия

Задачи этой темы содержат практические количественные данные об исходных параметрах процесса. Следует отметить, что область задач не преследует охват широкого круга сведений о параметрах процессов, а развивает методы получения сведений о процессах. При рассмотрении заданий этой темы важно проанализировать тип первичного устройства для регистрации параметра, принцип преобразования сигнала, передающую функцию цепи, в которой происходит измерение сигнала. При анализе уравнений, описывающих процесс важно определить уровень описания процесса. При описании процесса уравнениями первого порядка простота уравнений оборачивается неустойчивостью системы из-за необходимости рассмотрения процесса по частям. Более устойчивы те системы, которые описываются уравнениями второго и третьего порядка.

7.2 Примеры решения задач по теме

Задача 7.1.1. Измеритель парциальных давлений типа омегатрон подсоединен к приемно-усилительной лампе. Определить разрешающую способность по массовому числу омегатрона ($\Delta M = M/R$) в области 44 массового числа (CO_2), если известно, что для $M=18$ (H_2O) разрешающая способность прибора $R=20$. Принять $RM = const$

Решение. Так как $RM = 20 \times 18 = const = 360$. Тогда для H_2O $\Delta M = M/R = 18/20 = 0,95$.

Для случая CO_2 имеем $R_2 M_2 = const = 360$ находим $R_2 = 360/44 = 8,18$;

В итоге имеем $\Delta M = 44/8,18 = 5,37$.

Ответ: 5,4.

Задача 7.1.2. В вакуумной камере объемом $V = 0,1 \text{ м}^3$ при импульсном распылении полимера электронным лучом изменение давления “ dP ” составляет от 1 до 10 Па за 1 сек. Определить поток газовой выделения, если он определяется соотношением: $Q = d(PV)/dt = P dV/dt + V dP/dt$

Решение. При постоянном объеме камеры поток натекания определится вторым слагаемым.

Ответ: $0,9 \text{ Пам}^3/\text{с}$

7.3 Задачи для решения по теме

Задача 7.1. Определить КПД испарения пленки как отношение площади напыляемой поверхности подложки к общей поверхности конденсации, если испарение происходит с поверхности проволочного испарителя. Площадь подложки S_n составляет $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Расстояние до испарителя $r = 0,5 \text{ м}$.

Задача 7.2. В вакуумной камере объемом $V = 0,1 \text{ м}^3$ при импульсном распылении полимера электронным лучом изменение давления “ dP ” составляет от 1 до 10 Па за 1 сек. Определить поток газовой выделения, если он определяется соотношением: $Q = d(PV)/dt = P \cdot dV/dt + V \cdot dP/dt$.

Задача 7.3. Определить время откачки вакуумной камеры объемом $V = 0,1^3$ от атмосферного давления до 1 мм рт ст насосом с производительностью $S_n = 5 \text{ л/с}$, если откачка проводится по уравнению: $t = 8V/S_n$.

Задача 7.4. Рассчитайте, с каким коэффициентом диффузии D происходит диффузия титана в танталат висмута при температуре $T = 1000^0 \text{ К}$. Энергия активации процесса $E_a = 4,2 \text{ эВ}$, ($1 \text{ эВ} = 1,6 \text{ E-}19 \text{ Дж}$). Коэффициент стационарной диффузии $D_0 = 1 \text{ E-}10$. Диффузия происходит по уравнению: $D = D_0 (-\exp E_a/kT)$, $k = 1,38 \text{ E-}23$ – постоянная Больцмана.

Задача 7.5. Рассчитайте показания расходомера воды G (л/с) для охлаждения при разности температур на входе и выходе 20 градусов. Тепловой поток в стенку плазмотрона составляет $Q = 25 \text{ Вт}$. Уравнение процесса определяется выражением: $G = Q/C(T_2 - T_1)$. Удельная теплоемкость воды $C = 4,2 \text{ E}3 \text{ Дж/кг град}$.

Задача 7.6. Рассчитайте коэффициент пересчета K между измерением энерговыклада Q по калориметру и по осциллограмме для источника ионов с напряжением $U = 100 \text{ кВ}$, током ионов $I = 1 \text{ кА}$, длительностью импульса $\Delta t = 10 \text{ мкс}$. Энерговклад Q по калориметру определяется соотношением: $Q = C m \Delta T$. $C = 0,39$ – удельная теплоемкость калориметра, $m = 0,366 \text{ кг}$ – масса калориметра, $\Delta T = 7^0$ – изменение температуры калориметра вследствие воздействия пучка. Энерговклад, оцениваемый по осциллограмме, рассчитывается по соотношению: $Q = UI \Delta t$. Форма импульса – прямоугольная.

Задача 7.7. Испарение материала происходит с поверхности проволочного испарителя. Площадь подложки $S_n=1\text{E-}3 \text{ м}^2$. Расстояние от испарителя до подложки $r=0,4 \text{ м}$. Определить КПД испарения как отношение поверхности подложки к поверхности шара, предполагая, что коэффициент прилипания молекул равен $\eta=0,5$.

Задача 7.8. В автоматизированной системе измерения параметров используется электровакуумный диод с плоским анодом площадью $S_a=2\text{мм}^2$. Расстояние от катода до анода $d_{ак}=3\text{мм}$. Определить ток анода при напряжении на аноде $U=100 \text{ В}$, если он определяется выражением: $I_a=[2,33\text{E-}6S_a/d_{ак}^2]U^{3/2}$. (мА).

Задача 7.9. В автоматизированной системе измерения параметров технологического процесса используется преобразователь тока в напряжение сигнала. На сопротивлении обратной связи $R_{oc}=1 \text{ кОм}$ выделяется напряжение сигнала $U_{вых}=6 \text{ В}$. Чему равен ток, выдаваемый преобразователем?

Задача 7.10. Рассчитать первеанс электронной пушки $P=I/U^{3/2}$ (ампер/вольт) для тока луча 200 мА и ускоряющего напряжения 20 кВ .

7.4 Ответы к задачам

Задача 7.1. $\text{КПД} = S_n/S_u$; Поверхность шара $S_u = 4\pi r^2$. Ответ: 0,03 %.

Задача 7.2. При постоянном объеме камеры поток натекания определится вторым слагаемым.

Ответ: $0,9 \text{ Пам}^3/\text{с}$

Задача 7.3. Ответ: 160 сек

Задача 7.4. Ответ: $1,26\text{E}12$

Задача 7.5. Ответ: 0,295 л/с

Задача 7.6. Ответ: $K = 1000$

Задача 7.7. $\text{КПД} = S_n/S_u$; $S_u = 4\pi r^2$; Ответ: 0,05%

Задача 7.8. Ответ: 0,5 мА.

Задача 7.9. $R_{oc} = U_{вых}/I_i$. Ответ: 6 мА.

Задача 7.10. Ответ: $2,7 \text{ E-}4$.

Практическое занятие 8. Системы автоматического управления технологическими процессами

8.1 Основные понятия

Для решения задач этой темы полезно вспомнить законы описания процессов и их математические модели. Основные соотношения и понятия. Концентратор применяется для концентрации линий связи с целью уменьшения числа проводов. Процесс называется детерминированным, если воздействие на него происходит только по заданной функции. Различают случайное изменение сигнала, частотное, фазовое и др. Следует обратить внимание на законы регулирования параметров: пропорциональный (П), пропорционально-интегральный (ПИ), пропорционально-интегральный с дифференцированием сигнала (ПИД). В общем случае уравнение ПИД-регулятора (применительно к изменению напряжения во времени) выглядит следующим образом:

$$U(t) = f(t) + du/dt + \int u(t) dt.$$

Первое слагаемое обеспечивает работу в режиме П - регулятора, второе - в режиме ПИ- регулятора, третье - в режиме ПИД - регулятора.

Основные понятия, применяемые в терминологии задач данной темы, рассмотрены в лекционном материале.

8.2 Примеры решения задач по теме

Задача 8.1.1. Вольтамперная характеристика термоионного распылительного устройства в диапазоне токов до 1 А описывается функцией (8.1)

$$U = 200 \times I^2. \quad (8.1)$$

Определить рассогласование системы при токе 0,5 А, если кривая процесса регулирования подъема температуры испарителя задается функцией (8.2)

$$U = 150 \times I$$

Решение. Строится график вольтамперной характеристики, затем строится кривая регулирования. Находим напряжение при токе 1 А, подставляя в формулу (8.1). Получим $U = 200$ В. При $I = 1$ по формуле (8.2)

находим $U=150$. Рассогласование равно $\Delta U=50\text{В}$.

Ответ: 50

Задача 8.1.2. При входе в процесс диффузии в системе время-параметр через 20 минут температура прогрева образца составила 200 градусов. Через сколько минут следует перейти на систему время-команда, чтобы отключить прогрев при достижении 900 градусов?

Решение. Рекомендуется построить график проведения процесса. Скорость подъема температуры составила 10 град/мин.

Ответ: 90.

8.3 Задачи для решения по теме

Задача 8.1. Коэффициент сглаживания изодромного звена определяется функцией:

$$K_c = -0,2U + 0,1U - 0,4U + 0,7U.$$

Определить коэффициент сглаживания, если $U=1$.

Задача 8.2. Система децентрализованного управления первого уровня отключает плазмотрон при повышении потерь на катоде $Q > 1000\text{Вт}$. При каком токе система отключит плазмотрон с вольфрамовым катодом, если тепловой поток на катод Q описывается уравнением:

$$Q = 585 + 3,8x I, \text{ Вт}$$

Задача 8.3. Откачка вакуумной камеры объемом $V = 0,1 \text{ м}^3$ за время $t = 100\text{с}$ со скоростью $S_{\text{э}}$ проводится по уравнению $t = V/S_{\text{э}}$. Определить эффективную скорость откачки $S_{\text{э}}$.

Задача 8.4. Рассчитайте мощность P электронного источника, которая должна обеспечиваться при изготовлении отверстий в подложках микросхем. Уравнение отслеживания мощности определяется выражением:

$$P = 4aL \rho b/d^2 \text{ (Вт)}.$$

Принять: $a=10E-4$ -температуропроводность;
 $L=20$ Дж/см² - энергия испарения;
 $\rho=7,6$ г/см³ - плотность материала;
 $d=0.01$ см- диаметр пучка;
 $b=0,5$ см - глубина проникновения температуры луча.

Задача 8.5. Цифровой адаптивный регулятор температуры автоматически изменяет температуру испарения галлия из тигля с учетом испарившейся массы материала по соотношению $T(t)=400-m^4/r$. Определить температуру испарения после 1 часа, если испарилась навеска $m=10$ гр.

Задача 8.6. Регулятор автоматической поддержки вакуума поддерживает давление по уравнению $P=P_0/M$, где $M=10n$ - матрица компенсаторов, включающая от $n=1$ до $n=12$ титановых спиралей для поглощения газа. Определить давление в вакуумной камере, если включилась 10 компенсаторов при опорном давлении $P_0=10^{-6}$ Па

Задача 8.7. Определить количество поглощаемого газа Q при испарении титана с точностью до константы $k=1$, если оно пропорционально поверхности испарения S , времени испарения t (сек) определяется выражением:

$$Q=kSt (P_1-P_2)/Ln(P_1/P_2).$$

Принять $P_1=0,01$ Па, $P_2=0,001$ Па, $S=20 \times 10^{-2}$ м², $t=100$ с

Задача 8.8. Ячейка измерения импульсной температуры состоит из образца с контейнером массой $m=2 \times 10^{-3}$ кг и температурой $T_K=1000^0$, источника тепловой энергии с температурой T_c и некоторого участка термопары с термическим сопротивлением $R=80^0$ /сек. Выражение мгновенной скорости выделения тепла с точностью до константы $k=2$ записывается в виде: $R(dH/dt)=mk(T_K+T_c)$. Определить температуру источника (T_c), если изменение энтальпии $(dH/dt)=10$ Дж/с

Задача 8.9. Утечка количества тепла Q (Вт) по проводам термопары от образца с температурой T_0 оценивается уравнением: $Q=k^2 (T_0-T_c)$, где T_c - температура окружающей среды, k - коэффициент тепловых потерь. Определить коэффициент тепловых потерь, если $Q=5$ Вт, температура образца $T_0=1000^0$ С, температура среды в камере 200^0 С

Задача 8.10. Площадь пика при измерении температуры во времени $\Delta T t = d r^2 L \Delta H k$ пропорциональна скрытой теплоте фазового перехода $\Delta H = 330$ Ккал/кмоль, плотности образца $d = 7,6$ кг/см³, радиусу $r = 0,1$ см и длине образца $L = 2$ см. Определить коэффициент пропорциональности k , если площадь пика равна 5 см².

8.4 Ответы к задачам

Задача 8.1. Решение. Подставляя значения, получим ответ: 0,2

Задача 8.2. Ответ: 109,2

Задача 8.3. Ответ: 1E-3.

Задача 8.4. Решение: $4 \times 10^{-4} \times 20 \times 7,6 \times 0,5 / 0,01$. Ответ: 30 дж/сек = 30Вт.

Задача 8.5. Ответ: 397

Задача 8.6. Ответ: 10E-8

Задача 8.7. Ответ: 30 Пам³/с

Задача 8.8. Ответ: 398

Задача 8.9. Ответ: 0,08

Задача 8.10. Ответ: 0,1

Рекомендуемая литература

1. Барыбин А.А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы: учебное пособие для вузов / А. А. Барыбин - М.: Физматлит, 2006. – 423 с.

2. Данилина Т.И., Смирнова К.И., Илюшин В.А., Величко А.А. Процессы микро - и нанотехнологий. Томск, 2005, 400 с.

3. Данилина Т.И. Технология СБИС : учебное пособие / Т. И. Данилина, В. А. Кагадей ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, - Томск : ТУСУР, 2007. - 287 с..

4. Готра З.Ю. Технология микрoeлектронных устройств: Справочник. – М.: Радио и связь, 1991. – 525 с. ISBN 5-03-003432-3

Периодическая литература (за последние 5 лет).

Журналы: “Физика и химия обработки материалов”, “Известия вузов, серия физика”, “Автоматика и вычислительная техника” и др. реферативные журналы: ”Электроника”, “Физика”, “Химия”, описания патентов и авторских свидетельств по классам H01J, H01S, H05H, C23C.

Учебно-методическое пособие

Орликов Л.Н.

Специальные вопросы технологии приборов оптической электроники
Методические указания к практическим занятиям

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