

Министерство образования Республики Беларусь
Филиал БНТУ
«Минский государственный политехнический колледж»

Электронное учебно-методическое пособие
по учебной дисциплине
«ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»
для специальности 2-41 01 31 «Микроэлектроника»

Минск 2019

Автор:

Юхновец С.В.

Рецензенты:

Лаврова Л.К. преподаватель спецдисциплин специальности 2-41 01 31
«Микроэлектроника» высшей квалификационной категории филиала БНТУ
«МГПК»

Котов Д.А. канд. техн. наук., доцент,
доцент каф. «Микро- и наноэлектроники» БГУИР

Учебно-методическое пособие предназначено для самостоятельного и дистанционного изучения учебной дисциплины «Оптимизация технологических процессов» учащимися специальности 2-41 01 31 «Микроэлектроника». В учебно-методическом пособии представлен теоретический материал, а также материал, обеспечивающий контроль знаний для проведения самоконтроля и текущей аттестации.

Белорусский национальный технический университет.
Филиал БНТУ «Минский государственный политехнический колледж».
пр - т Независимости, 85, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: (017) 292-13-42 Факс: 292-13-42
E-mail: mgpk@bntu.by
<http://www.mgpk.bntu.by/>
Регистрационный № БНТУ/МГПК -46.2019

© БНТУ, 2019

© Юхновец С.В., 2019

Содержание

Пояснительная записка

Выписка из типового учебного плана

Междисциплинарные связи

Учебная программа учебной дисциплины

Тематический план

Содержание учебной программы

Критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся

Перечень существенных и несущественных ошибок

Перечень разделов и тем учебной программы

Теоретический материал по темам учебной программы

Введение

Тема 1.1. Системный подход к технологии производства.

Структура производственного процесса

Тема 2.1 Технологичность конструкций. Выбор оптимального варианта ТП. Оформление технологической документации

Тема 3.1 Производственные погрешности. Обеспечение заданной точности ТП. Надежность ТП.

Тема 4.1 Оптимизация ТП с использованием полного факторного эксперимента (ПФЭ), управление регрессии, симплексного метода. Оптимизация ТП с помощью симплексного метода.

Тема 4.2 Моделирование систем массового обслуживания

Тема 5.1 Технологическое оснащение и правила его выбора.

Самоконтроль знаний

Примерный перечень вопросов к ОКР

Перечень учебных изданий и информационно-аналитических материалов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электронное учебно-методическое пособие по учебной дисциплине «Оптимизация технологических процессов» может использоваться преподавателями и учащимися дневной формы получения образования для самостоятельного и дистанционного изучения материала учебной дисциплины «Оптимизация технологического процесса».

Учебная программа учебной дисциплины «Оптимизация технологических процессов» составлена в соответствии с типовым учебным планом специальности 2-41 01 31 «Микроэлектроника» и примерным тематическим планом, утвержденным Министерством образования Республики Беларусь 19.03 2010 ст. № 75Д/к.

Цели и задачи учебной дисциплины:

- правильно разработать технологический процесс (ТП), который обеспечит выполнение всех требований, указанных в чертежах и технических условиях (ТУ), высокую производительность и высокие экономические показатели

- выбрать оптимальный вариант ТП по себестоимости и производительности

Изучение программного материала основывается на знаниях, приобретенных учащимися по таким дисциплинам как: «Технология и оборудование термических, вакуумно-элионных и плазмохимических процессов», «Технология и оборудование литографических процессов», «Технология и оборудование сборки и монтажа ИМС», «Испытания и контроль качества МЭУ», «Технология производства МЭУ» и др. В свою очередь знания по данной дисциплине позволяют выбрать наиболее важные выходные параметры ТП, которые в свою очередь, позволят получить экстремальное значение критерия оптимизации.

В результате изучения учебной дисциплины учащиеся должны знать:

на уровне представления:

- общие принципы проектирования ТП производства МЭУ;
- совокупность мероприятий, обеспечивающих готовность предприятия к выпуску изделий;

на уровне понимания:

- вопросы теории точности производства;
- понятия, определения и показатели надежности;
- вопросы математического моделирования и оптимизации;
- вопросы выбора технологического оборудования и оснастки;

уметь:

- определять способы организации производства;
- рассчитывать основные показатели технологичности;
- заполнять комплект документации на изготовление ИМС;
- определять точность изготовления ИМС;
- рассчитывать показатели надежности;
- оптимизировать ТП с помощью полного факторного эксперимента (ПФЭ), симплексного метода и уравнения регрессии;

- выбирать оптимальное оборудование и оснастку.

Для закрепления и углубления теоретических знаний учащихся, а также приобретения необходимых практических навыков и умений учебной программой предусматривается проведение практических занятий, которые необходимо проводить после изучения соответствующих тем.

В процессе изучения учебной дисциплины проводится одна обязательная контрольная работа. Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится посредством поурочных и тематических самостоятельных и контрольных работ.

Тематический план учебной программы носит рекомендательный характер. Цикловая комиссия учреждения образования может вносить обоснованные изменения в содержание программного материала и распределение учебных часов по разделам и темам при условии сохранения общего количества часов, отведенных учебным планом на дисциплину. Все изменения должны утверждаться заместителем руководителя учреждения образования по учебной работе.

Выписка из типового учебного плана специальности

по специальности 2-41 01 31 «Микроэлектроника»,
утвержденного Министерством образования Республики Беларусь №150Д/тип
от 15.07.2013 года

Учебная дисциплина «Оптимизация технологических процессов» изучается на протяжении одного семестра

Виды работ	Количество часов
	8 семестр обучения
Всего часов	30
Из них: практических занятий	16
лабораторных работ	—
курсовое проектирование	—
Количество: тематических контрольных работ	—
обязательных контрольных работ	1
*домашних контрольных работ	—
Экзамен	—

Междисциплинарные связи

«Оборудование производства микроэлектронных устройств»

«Технология производства микроэлектронных устройств»

«Технология и оборудование термических вакуумно-электронных и
плазмохимических процессов»

«Технология и оборудование литографических процессов»

«Технология и оборудование сборки и монтажа ИМС»

«Испытания и контроль качества МЭУ»

Министерство образования Республики Беларусь
Филиал БНТУ
«Минский государственный политехнический колледж»

СОГЛАСОВАНО

Заместитель директора
по учебной работе
А.М.Маслан

«_11_» __06____2015

УТВЕРЖДАЮ

Директор Филиала
БНТУ «МГПК»
Г.Д.Подгайский

«_11_» __06____2015

Оптимизация технологических процессов

Учебная программа по специальности 2-41 01 31 «Микроэлектроника»

Разработчик

Л.К.Лаврова

Рецензент

Т.Ф.Деревянко

Программа рассмотрена и рекомендована к
утверждению на:
-заседании цикловой комиссии спецдисциплины
специальности
2-41 01 31, 2-53 01 01
Протокол №_8_ от «_18_» __03__2015

Председатель комиссии
_____ Т.Ф.Деревянко
- заседании экспертной методической комиссии
Заседание №_6_ от «_11_» __06__2015

2015

Тематический план

Раздел, тема	Количество часов	
	всего	В том числе практич.
1	2	3
Введение	2	
Раздел 1. Общие принципы проектирования технологического процесса (ТП) производства МЭУ	4	2
1 Системный подход к технологии производства. Структура производственного процесса	4	2
Раздел 2 Технологическая подготовка производства	6	4
2.1 Технологичность конструкций. Выбор оптимального варианта ТП	6	4
Оформление технологической документации		
Раздел 3 Точность и надёжность ТП	6	4
3.1 Производственные погрешности. Обеспечение заданной точности ТП. Надёжность ТП	6	4
Раздел 4 Математическое моделирование и оптимизация ТП	8	4
4.1 Оптимизация ТП с использованием полного факторного эксперимента (ПФЭ), уравнения регрессии, симплексного метода	6	4
Оптимизация ТП с помощью симплексного метода		
4.2 Моделирование систем массового обслуживания	1	
<i>Обязательная контрольная работа №1</i>	1	
Раздел 5 Технологическое оборудование и оснастка	4	2
5.1 Технологическое оснащение и правила его выбора	4	2
ИТОГО	30	16

Содержание учебной программы

Цель изучения	Содержание раздела, темы	Результат
Введение		
Сформировать представление о технологических системах производства и методах моделирования, оптимизации, анализа и синтеза технологических систем производства МЭУ	Цели и задачи дисциплины Связь его с другими предметами учебного цикла	Имеет представление о системах производства и о моделировании и оптимизации ТП
Раздел 1. Общие принципы проектирования технологического процесса (ТП) производства МЭУ		
Тема 1.1. Системный подход к технологии производства.		
Сформировать представление о технологической системе и ТП. Дать понятие производственного процесса и его классификацию	Классификация ТП. Понятие технологической системы. Производственный процесс. Его виды, структура. Классификация ТП, его составные части	Имеет представление о производственной системе. Классифицирует технологические процессы. Даёт определение производственного процесса и его видам
Практическая работа №1		
Сформировать умение рассчитывать и определять ритмичность и виды производства	Определение способа организации и производства ИМС	Описывает виды производства и производственных процессов. Рассчитывает и определяет вид производства
Раздел 2. Технологическая подготовка производства		
Тема 2.1. Технологичность конструкций. Выбор оптимального варианта ТП.		
Сформировать представление о технологичности и её показателях. Дать представление о критериях выбора оптимального ТП по экономичности и производительности. Дать понятие о ЕСТД и стадиях разработки документации	Технологичность. Классификация показателей технологичности, критерии выбора оптимального варианта ТП, единая система технологической документации (ЕСТД), стадии разработки документации.	Ориентируется в показателях технологичности. Поясняет критерии выбора оптимального ТП. Описывает порядок разработки документации

Цель изучения	Содержание раздела, темы	Результат
Практическая работа №2		
Сформировать умение оценивать качественно и количественно технологичность, рассчитать базовые показатели технологичности	Изучение и расчёт основных показателей технологичности	Ориентируется в показателях технологичности, рассчитывает базовые показатели технологичности и уровень технологичности конструкции
Практическая работа № 3		
Научить правилам разработки документации (ТД) и правилам заполнения ТК, МК, КК	Заполнение комплекта документов на изготовление ИМС	Описывает состав и правила выполнения ТД согласно ЕСТД. Заполняет ТК, МК, КК
Раздел 3. Точность и надёжность технологических процессов (ТП) Тема 3.1 Производственные погрешности. Обеспечение заданной точности ТП. Надёжность ТП		
Дать понятие о законах распределения погрешностей методах анализа погрешностей. Сформировать представление о методах обеспечения заданной точности ТП. Дать представление о надёжности и показателях надёжности	Законы распределения погрешностей, методы анализа погрешностей, методы полной и неполной взаимозаменяемости, регулировки. Показатели надёжности.	Поясняет законы распределения производственных погрешностей. Имеет представление о методах обеспечения заданной точности. Даёт определение надёжности и показателей надёжностей
Практическая работа №4		
Сформировать умение ориентироваться в основных показателях точности, научить проводить анализ точности производства статистическими методами	Определение точности изготовления ИМС.	Ориентируется в показателях точности. Проводит анализ точности статистическими методами
Практическая работа №5		
Сформировать умение рассчитывать показатели надёжности и оценивать надёжность технологической системы	Изучение показателей надёжности	Ориентируется в методах расчёта показателей надёжности. Рассчитывает надёжность технологической системы

Цель изучения	Содержание раздела, темы	Результат
Раздел 4. Математическое моделирование и оптимизация ТП Тема 4.1 Оптимизация ТП с использованием полного факторного эксперимента (ПФЭ), уравнения регрессии симплексного метода		
Сформировать представление о методах оптимизации ТП	Метод Гаусса – Зойделя, Метод градиента Метод кругового восхождения. ПФЭ. Критерии и свойства ПФЭ.	Ориентируется в системах оптимизации ТП
Практическая работа №6		
Научить проводить математическое моделирование ТП с помощью ПФЭ	Оптимизация математической модели ТП с помощью ПФЭ.	Ориентируется в оптимизации математической модели ТП с помощью ПФЭ. Проводит математическое моделирование с помощью уравнений регрессии и ПФЭ
Практическая работа №7		
Научить оптимизировать ТП с использованием симплексного метода	Оптимизация ТП с помощью симплексного метода	Ориентируется в оптимизации ТП с помощью симплексного метода
Тема 4.2 Моделирование систем массового обслуживания		
Дать представление о системах массового обслуживания (СМО) и их характеристиках. Научить строить моделирующие алгоритмы операций производства МЭУ	Основные характеристики. Эффективность использования автоматизированных установок	Демонстрирует знания по разработке алгоритмов проведения операций производства ИМС
Обязательная контрольная работа №1		
Раздел 5 Технологическое оборудование и оснастка Тема 5.1 Технологическое оснащение и правила его выбора		

Цель изучения	Содержание раздела, темы	Результат
<p>Дать представление о технологическом оборудовании и оснастке, средствах механизации и автоматизации. Научить делать выбор оборудования и оснастки</p>	<p>Технологическое оборудование и оснастка, средства механизации и автоматизации, выбор технологического оборудования и оснастки</p>	<p>Ориентируется в технологическом оборудовании и оснастке, средствах механизации и автоматизации, умеет выбрать необходимое оборудование и оснастку</p>
<p>Практическая работа №8</p>		
<p>Научить выбирать технологическую оснастку для конкретного ИМС</p>	<p>Выбор оптимальной технологической оснастки для ТП производства ИМС</p>	<p>Демонстрирует знания по выбору технологической оснастки, выбирает технологическую оснастку для производства ИМС</p>

Примерный перечень оснащения учебного кабинета

Наименование	Тип (вид, марка, класс)	Коли- чество	Приме- чание
1	2	3	4
<p>Средства обучения для проведения практических работ</p> <p>1 Методические указания для проведения практических работ</p> <p>2 Раздаточный материал (индивидуальные варианты заданий)</p>		15 30	
<p>Электронные средства обучения</p> <p>1 Программы Microsoft Office Word, Excel, PowerPoint.</p> <p>2 Учебные материалы в электронном виде</p> <p>3 Компьютерные программы педагогического назначения:</p>			
<p>Технические средства обучения</p> <p>1 Телевизор</p> <p>2 Компьютер</p> <p>3 Мультимедийный проектор</p>		1 1 1	
<p>Оборудование помещения</p> <p>1 Стол для преподавателя</p> <p>2 Столы для учащихся</p> <p>3 Стулья</p> <p>4 Доска классная</p> <p>5 Экран проекционный</p>		1 15 30 1 1	
<p>Средства пожаротушения и средства индивидуальной защиты</p> <p>1 Огнетушитель</p> <p>2 Аптечка</p>		1 1	

Критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся

Отметки в баллах	Показатели оценки
1	2
1 (один)	Узнавание отдельных объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (имеет представление о технологических процессах изготовления ИМС, но не знает требований, предъявляемых к технологическому процессу (ТП)), наличие многочисленных существенных ошибок, не исправляемых с непосредственной помощью преподавателя.
2 (два)	Различение объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (имеет общее представление о некоторых выходных параметрах ТП) осуществление соответствующих практических действий; наличие существенных ошибок, частично исправляемых с непосредственной помощью преподавателя.
3 (три)	Воспроизведение части программного материала по памяти (фрагментарный пересказ и перечисление основных параметров технологических процессов изготовления ИМС); осуществление умственных и практических действий по образцу; наличие существенных ошибок исправляемых с непосредственной помощью преподавателя.
4 (четыре)	Воспроизведение большей части программного учебного материала (описание общих принципов проектирования ТП производства ИМС, мероприятий, обеспечивающих готовность предприятия к выпуску изделий); наличие единичных существенных ошибок исправляемых с непосредственной помощью преподавателя.
5 (пять)	Осознанное воспроизведение большей части программного учебного материала (описывает вопросы теории точности производства, понятия, определения и показатели надежности, вопросы выбора технологического оборудования и оснастки); применение знаний в знакомой ситуации; наличие несущественных ошибок исправляемых с непосредственной помощью преподавателя.

1	2
6 (шесть)	Полное знание и осознанное воспроизведение всего программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (понимает методику математического моделирования и оптимизации, определяет способы организации производства ИМС); выполнение заданий по образцу; наличие несущественных ошибок исправляемых с непосредственной помощью преподавателя.
7 (семь)	Полное, прочное знание и воспроизведение программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (описывает методики математического моделирования и оптимизации ТП, рассчитывает основные показатели технологичности, точности, надежности, выбирает оптимальное оборудование и оснастку); наличие единичных несущественных ошибок исправляемых с непосредственной помощью преподавателя.
8 (восемь)	Полное, прочное, глубокое знание и воспроизведение программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в знакомой ситуации (описывает методики математического моделирования и оптимизации ТП, рассчитывает основные показатели технологичности, точности, надежности, выбирает оптимальное оборудование и оснастку); наличие единичных несущественных ошибок устраняемых самостоятельно.
9 (девять)	Полное, прочное, глубокое, системное знание программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в частично измененной ситуации (знает как заполнять комплект документации на изготовление ИМС, определяет точность изготовления ИМС, выбирает оптимальное оборудование и оснастку для ТП).
10 (десять)	Свободное оперирование программным учебным материалом; применение знаний и умений в незнакомой ситуации (знает методы расчета показателей надежности, выбирает метод оптимизации ТП, определяет точность изготовления ИМС, определяет готовность предприятия к выпуску новых изделий)

Перечень существенных и несущественных ошибок
по учебной дисциплине «**Оптимизация технологических процессов**»
для специальности 2-41 01 31 «Микроэлектроника»

Существенные ошибки:

В изложении теоретического материала:

- затруднения в изложении основных терминов, определений и понятий при ответе на вопрос;

- затруднения в выборе оптимизации ТП;
- ошибки в областях применения полупроводниковых приборов;
- неполные, неаргументированные ответы;
- ошибки в изложении оптимизации ТП;

При выполнении практических работ:

- несоблюдение нормативно-методических документов при выполнении работ;

- неправильный расчет полного факторного эксперимента;
- ошибки при расчете коэффициента закрепления операции;
- ошибки в преобразовании единиц измерения величин;
- затруднения при оперировании формулами и в применении к решению задач;

- ошибки в расчетах, при построении графиков, временных диаграмм, отсутствие размерности величин;

- затруднения в оценивании полученного результата.

Несущественные ошибки:

В изложении теоретического материала:

- неточность в стандартном изложении понятий, определений;

- искажение формы распределения Гаусса;

- неполные изложения основных параметров ТП;

- определение некоторых параметров без учета размерности величин, входящих в формулу;

- неполные, неточные изложения принципа оптимизации ТП;
- небрежное выполнение записей, схем, рисунков;
- грамматические ошибки в терминах.

При выполнении практических работ:

- наличие опечаток (менее 5);

- неточность в оформлении работ;

- применение нерационального способа решения задач;

- ошибки вычислительного характера, не приводящие к абсурдным результатам;

- небрежное выполнение записей, схем, рисунков;
- нерациональные приемы работы со справочной литературой
- ошибки вычислительного характера, не приводящие к абсурдным результатам.

Перечень разделов и тем учебной программы

Введение

Раздел 1. Общие принципы проектирования технологического процесса (ТП) производства МЭУ

Тема 1.1. Системный подход к технологии производства. Структура производственного процесса

Раздел 2. Технологическая подготовка производства

Тема 2.1 Технологичность конструкций. Выбор оптимального варианта ТП. Оформление технологической документации

Раздел 3. Точность и надежность ТП

Тема 3.1 Производственные погрешности. Обеспечение заданной точности ТП. Надежность ТП.

Раздел 4. Математическое моделирование и оптимизация ТП

Тема 4.1 Оптимизация ТП с использованием полного факторного эксперимента (ПФЭ), управление регрессии, симплексного метода. Оптимизация ТП с помощью симплексного метода.

Тема 4.2 Моделирование систем массового обслуживания

Тема 5. Технологическое оборудование и оснастка

Тема 5.1 Технологическое оснащение и правила его выбора.

Введение

Технология - это наука, которая изучает основные закономерности, действующие в процессе производства, и использует их для получения изделий требуемого качества, заданного количества и номенклатуры при минимальных материальных, энергетических и трудовых затрат.

Предмет дисциплины - технология сборки, монтажа, настройки и „регулировки радиоэлектронной аппаратуры, а также оборудование и средства автоматизации производства.

Цель преподавания дисциплины - изучение технологических систем производства, включая методы проектирования и управления оптимальными технологическими процессами с применением микропроцессоров и микроЭВМ, обеспечивающих интенсификацию и эффективность производства, высокое качество изготавливаемой продукции, изучения средств автоматизации, в том числе гибких производственных систем, методов моделирования, оптимизации, анализа и синтеза технологических систем производства.

Современная электронная аппаратура представляет собой сложный комплекс технических устройств, объединенных общим управлением и предназначенных для автоматического приема, преобразования, обработки и передачи информации в соответствии с заданным алгоритмом. С конструктивно-технологической точки зрения ЭА - это совокупность механических деталей, активных и пассивных электрорадиоэлементов, интегральных микросхем, объединенных в функционально законченные сборочные единицы, и их модульная компоновка. Базовые конструкции аппаратуры имеют несколько уровней модульности, предусматривающих объединение простых модулей в более сложные. По мере развития ЭА элементная база и состав модулей изменяются, изменяется и технология их изготовления.

Анализ развития ЭА позволяет не только установить особенности современной аппаратуры, но и наметить перспективные пути развития технологии ее производства. К конструктивно-технологическим особенностям ЭА относятся:

- постепенное усложнение и переход от аппаратов к сложным комплексам и системам
- прогрессирующая микроминиатюризация изделий
- модульная компоновка из функционально законченных схем и блоков
- изготовление отдельных модулей и последующая их сборка в более сложные единицы;
- автоматизация проектирования, изготовления и управления производством.

Тема 1.1. Системный подход к технологии производства. Структура производственного процесса

Производственный процесс изготовления ЭА состоит из большого количества технологических операций, реализуемых на различном оборудовании. Отдельные станки объединяются в линии изготовления деталей, ЭРЭ, сборки. Работа станков, линий и процесс в целом характеризуется частичной или полной синхронизацией и взаимозависимостью выполнения режимов. Поэтому производственный процесс можно отнести к сложным системам, а для его анализа необходимо применять системный подход.

Производственный процесс - это совокупность действий, в результате которых сырье, материалы и полуфабрикаты, поступающие на предприятие, превращаются в готовое изделие. Он делится на основной и вспомогательный. Основной производственный процесс - это изготовление продукции, определяемой госзаказом и договорами с другими предприятиями, вспомогательный - ремонт оборудования, транспортирование объектов производства, изготовление оснастки, инструментов, электроснабжение.

Технологический процесс - это часть производственного процесса, представляющая собой комплекс действий исполнителей и оборудования, направленных непосредственно на преобразование материалов и комплектующих изделий в готовое изделие. ТП состоит из операций, установов, позиций, переходов.

Операция - законченная часть ТП, выполняемая на одном рабочем месте одним или несколькими рабочими при неизменном технологическом оборудовании. С изменением вида оборудования вводится новая операция. Технологическая операция является основной единицей производственного планирования и учета. На основе операций оценивается трудоемкость изготовления изделий и устанавливаются нормы времени и расценки, определяется требуемое количество рабочих, оборудования, приспособлений и инструмента, себестоимость, ведется календарное планирование производства и осуществляется контроль качества и сроков выполнения работ.

Кроме технологических в состав ТП включают ряд необходимых для его осуществления вспомогательных операций (транспортных, контрольных, маркировочных и т.п.).

Установ - часть операции, выполняемая при одном закреплении изделия.

Позиция - фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции.

Переход - законченная часть операции, которая характеризуется постоянством инструмента, оснастки, режимов обработки, поверхности детали. Переход делится на рабочий ход и вспомогательный

Тема 2.1 Технологичность конструкций. Выбор оптимального варианта ТП. Оформление технологической документации

Технологичность - это совокупность свойств конструкции, которые проявляются в оптимальных затратах труда, средств, материалов и времени при изготовлении, эксплуатации и ремонте изделия. Различают производственную, эксплуатационную, ремонтную технологичность при техническом обслуживании, технологичность конструкции детали и сборочной единицы, а также технологичность конструкции по процессу изготовления, форме поверхности, размерам и материалам. К качественным характеристикам технологичности конструкции относят взаимозаменяемость, регулируемость, контролепригодность и инструментальную доступность конструкции.

Нормативные значения комплексных показателей технологичности конструкций изделий ЭА зависят от стадии разработки рабочей документации. Для повышения технологичности конструкций устройств необходимо выполнение следующих мероприятий:

- повышение унификации, конструкторской и функциональной взаимозаменяемости деталей и сборочных единиц
- расширение использования ИМС, микросборок, функциональных элементов
- увеличение сборности конструкции за счет использования базовых несущих конструкций
- увеличение количества деталей, изготовленных прогрессивными способами формообразования, обоснование выбора качеств точности, шероховатости поверхности, установочных и технологических баз
- рациональная компоновка элементов на плате, что обеспечивает автоматизированную установку и монтаж
- минимизация числа подстроечных и регулировочных элементов
- автоматизация подготовки элементов к монтажу
- совершенствование ТП монтажа
- механизация и автоматизация операций контроля и настройки
- применение прогрессивных методов формообразования деталей

При выборе оптимального варианта ТП используют технико-экономические критерии - экономичность и производительность. Экономичным считается процесс, который при заданных условиях обеспечивает минимальную технологическую себестоимость. Производительность соответствует наименьшим затратам живого труда и обеспечивает быстрый выпуск продукции в плановые сроки.

Маршрутная карта (МК) является одним из важнейших технологических документов комплекта, его составной и неотъемлемой частью и имеет ряд форм. Выбор и установление области применения соответствующих форм МК зависит от разрабатываемых видов технологических процессов, назначения и формы в составе комплекта ТД и применяемых методов проектирования.

Тема 3.1 Производственные погрешности. Обеспечение заданной точности ТП. Надежность ТП.

Производственные погрешности выходных параметров изделий следует рассматривать как следствие влияния нестабильности технологических процессов изготовления деталей, ЭРЭ, а также технологических операций сборки и монтажа, герметизация, термотренировки и др. Под производственными погрешностями понимают отклонения параметров изделий от номинальных данных, указанных в ТУ на изделие.

Различают два вида производственных погрешностей: случайные и систематические. Погрешность называют случайной, если она принимает различные значения под влиянием случайных факторов, поэтому определить заранее точное значение для каждого момента времени невозможно. Систематической называется такая погрешность, которая в процессе исследований остается постоянной или же изменяется по определенному закону. Кроме случайных и систематических погрешностей на практике встречаются грубые ошибки, зависящие от грубых ошибок оператора, технолога и т.д. Влияние таких погрешностей не учитывается при построении модели, но принимаются меры к их предупреждению.

В производстве все погрешности проявляются в совокупности и вызываются в основном следующими факторами:

погрешностями в работе технологического оборудования, обусловленными дефектами электрических, механических и оптических систем

- износом рабочего инструмента, отклонениями его от требуемой конфигурации

недостаточной жесткостью, нарушением конфигурации приспособлений и технологической оснастки, неправильной установкой в оборудовании

- неоднородностью электрофизических, механических и прочих свойств материалов и заготовок деталей

- субъективными ошибками оператора при настройке оборудования и поддержания режимов его работы

- метрологическими ошибками в результате неточности измерительных средств при контроле параметров изделия.

Технологическая точность - это реально существующая точность выходных параметров функциональных блоков в процессе их изготовления при выбранном варианте технологии.

Под надежностью ТП понимают его способность обеспечивать изготовление изделий в полном соответствии с технической документацией.

Надежность ТП - это вероятность того, что изготавливаемое изделие будет годным

Тема 4.1 Оптимизация ТП с использованием полного факторного эксперимента (ПФЭ), управление регрессии, симплексного метода. Оптимизация ТП с помощью симплексного метода.

Под математическим описанием процесса будем понимать систему уравнений, связывающих функции отклика с влияющими факторами. В простейшем случае это может быть одно уравнение. Часто математическое описание называют математической моделью.

С помощью математических методов оптимального планирования эксперимента можно получить математическую модель процесса даже при отсутствии сведений о его механизме. Это в ряде случаев бывает очень полезно.

Ценность математического описания заключается в том, что оно:

Во-первых, дает информацию о влиянии факторов;

Во-вторых, позволяет количественно определить значение функций отклика при заданном режиме процесса;

В-третьих, может служить основой для оптимизации.

Следует отметить, что на основе методов планирования эксперимента можно количественно описать также свойства таких продуктов, как сплавы, пластмасса, резины, керамика, ситаллы, бетоны и т.п.

Математические модели, получаемые с помощью методов планирования эксперимента, принято называть экспериментально - статическими.

Полный факторный эксперимент

Метод полного факторного эксперимента дает возможность получить математическое описание исследуемого процесса в некоторой локальной области факторного пространства, лежащей в окрестности выбранной точки с координатами. Перенесем начало координат факторного пространства в эту точку (рисунок 1). С этой целью введем новые переменные

$$X_i = \frac{x_i - x_{0i}}{\Delta x_i} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

где Δx_i - масштаб по оси X

Иногда величину X_j , называют кодированной переменной. Функции отклика в окрестности нового начала координат разложим в ряд Тейлора.

$$\beta_1 = \frac{\partial y}{\partial X_1}$$

$$\beta_{ij} = \frac{\partial^2 y}{\partial X_i \partial X_j}$$

$$\beta_{ii} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 y}{\partial X_i^2}$$

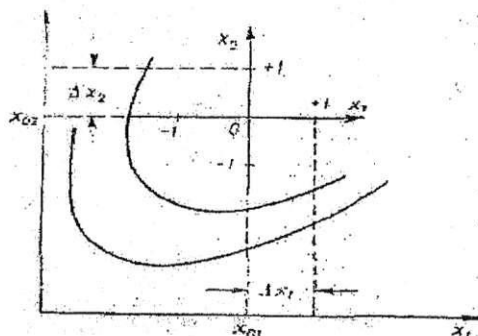


Рисунок 1 - Введение кодированных переменных

Симплексом называется правильный многогранник, имеющий $n + 1$ вершину, где n число факторов, влияющих на процесс. Так, если факторов два, то симплексом является правильный треугольник. Сущность симплексного метода оптимизации иллюстрирует рисунок 2.

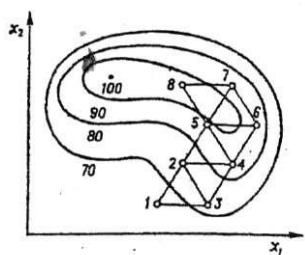


Рисунок 2. Оптимизация по симплексному методу

Начальная серия опытов соответствует вершинам исходного симплекса (точки 1, 2 и 3). Условия этих первых опытов берутся из области значений факторов, соответствующих наиболее благоприятным из известных режимов оптимизируемого процесса.

Сравнивая между собой результаты опытов в точках 1, 2 и 3, находят среди них самый «плохой», с точки зрения, выбранного критерия оптимальности. Пусть, например, самым «неудачным» оказался опыт в точке 1. Этот опыт исключают из рассмотрения, а вместо него в состав симплекса вводят опыт в точке 4, которая симметрична точке 1 относительно противоположной стороны треугольника, соединяющей точки 2 и 3.

Далее сравнивают между собой результаты опытов в вершинах нового симплекса, выбрасывают самый «неудачный» из них и переносят соответствующую вершину симплекса в точку 5. Затем рассмотренная процедура повторяется в течение всего процесса оптимизации.

Если достигнут экстремум критерия оптимальности, то дальнейшее движение симплекса прекращается. Это значит, что новый шаг возвращает исследователя в предыдущую точку факторного пространства.

Следует иметь в виду, что симплексный метод, так же как и метод крутого восхождения, является *локальным* методом поиска экстремума. Если существует несколько экстремумов критерия оптимальности, то этот метод позволяет найти тот из них, который расположен ближе к точкам исходного симплекса. Поэтому, если есть подозрение о существовании нескольких экстремумов критерия оптимальности- то нужно осуществить их поиск, каждый раз начиная оптимизацию из новой области факторного пространства. Затем следует сравнить между собой найденные оптимальные условия и из всех вариантов выбрать наилучший.

При оптимизации необходимо принимать во внимание ограничения, наложенные на влияющие факторы и функции отклика.

Важно отметить, что при пользовании симплексным методом *не обязательно* дублировать опыты. Дело в том, что ошибка в отдельном опыте может только несколько замедлить оптимизацию. Если же последующие опыты выполняются безупречно, то движение к оптимуму продолжается.

Пример расчета полного факторного эксперимента

Оптимизация технологического процесса заключается в подборе наилучшего сочетания рабочих параметров процесса, чтобы снизить дефектность и количество брака в целом, тем самым повысив качество проведения операции и процент выхода годных изделий.

Оптимизация осуществляется путем проведения полного двухфакторного эксперимента. Метод полного факторного эксперимента дает возможность получить математическое описание исследуемого процесса в некоторой локальной области факторного пространства. С его помощью можно определить влияние различных факторов на протекание процесса, а также можно количественно определить значение функций отклика при заданном режиме процесса.

На рисунке 1 представлена диаграмма распределения удельного сопротивления.

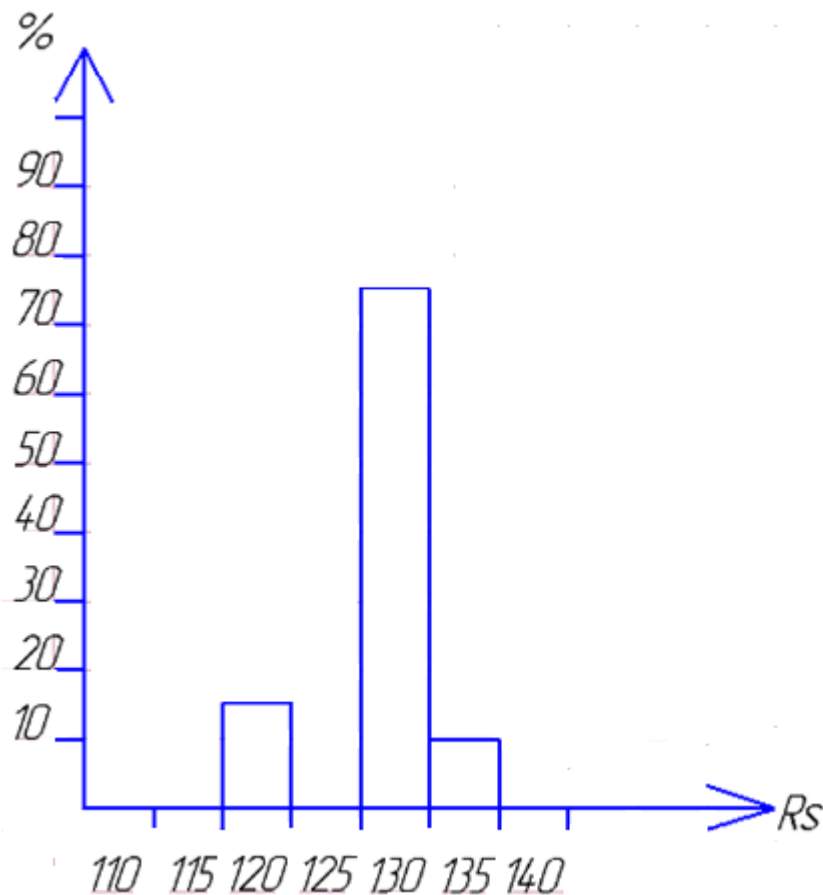


Рисунок 1 – Диаграмма распределения удельного сопротивления до оптимизации

С помощью полного факторного эксперимента ищут математическое описание процесса в виде уравнения 1:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + b_{(n-1)n}X_{n-1}X_n \quad (1)$$

Его называют уравнением регрессии, а входящие в него коэффициенты – коэффициентами регрессии.

Для удобства вычислений коэффициентов регрессии все факторы в ходе полного факторного эксперимента варьируют на двух уровнях, соответствующих значениям кодированных переменных «+1» и «-1».

Таким образом, полным факторным экспериментом называется система опытов, содержащая все возможные неповторяющиеся комбинации уровней варьирования факторов.

Общее количество опытов в матрице планирования определяется по формуле

$$N = 2^n \quad (2)$$

где n – число факторов.

При проведении полного факторного эксперимента зададимся условиями, приведенными в таблице 1, где x_1 – энергия, x_2 – плотность тока в пучке.

Таблица 1 – Условия

Характеристика	x_1 , кэВ	x_2 , мкА
Основной уровень	100	4
Интервал варьирования	5	0,1
Верхний уровень	105	4,1
Нижний уровень	95	3,9

Матрица планирования и результаты полного двухфакторного эксперимента представлены в таблице 2, где функция отклика – это поверхностное сопротивление.

Таблица 2 – Полный двухфакторный эксперимент

Номер опыта	Факторы		Значения факторов		Функция отклика
	X_1	X_2	x_1	x_2	
1	-1	-1	95	3,9	100
2	+1	-1	105	3,9	125
3	-1	+1	95	4,1	130
4	+1	+1	105	4,1	160

На основании полного факторного эксперимента вычисляют коэффициенты регрессии, используя формулы

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j \quad (3)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{ji} y_j \quad (4)$$

$$b_{lm} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{jl} X_{jm} y_j \quad (5)$$

Выполним расчет в соответствии с формулами (3), (4), (5)

$$b_0 = \frac{1}{4} (100 + 125 + 130 + 160) = 128,75$$

$$b_1 = \frac{1}{4} (-100 + 125 - 130 + 160) = 13,75$$

$$b_2 = \frac{1}{4} (-100 - 125 + 130 + 160) = 16,25$$

Определяем дисперсию серии опытов для трех степеней свободы по формуле

$$S_y = \frac{1}{k} - 1 \sum_{i=1}^k (y_{ji} - y_i)^2 \quad (6)$$

Выполним расчет в соответствии с формулой (6)

$$S_y = \frac{1}{3} \times 192 = 64$$

Ошибку в определении коэффициентов регрессии вычислим по формуле

$$S_b = \sqrt{S_y/N} \quad (7)$$

Выполним расчет в соответствии с формулой (7)

$$S_b = \sqrt{64/4} = 4$$

Пользуясь Таблицей 3, находим, что для доверительной вероятности $P = 0,95$ и 3 степеней свободы значение критерия Стьюдента $t = 3.18$.

Тогда

$$S_b t = 4 \times 3,18 = 13$$

Для оценки значимости коэффициентов регрессии рассмотрим следующие соотношения:

$$|b_0| = 128,75 \geq S_b t$$

$$|b_1| = 13,75 \geq S_b t$$

$$|b_2| = 16,25 \geq S_b t$$

Отсюда видно, что все коэффициенты регрессии значимы. Следовательно, искомое уравнение имеет вид:

$$y = 128,75 + 13,75 \times X_1 - 16,25 \times X_2$$

Для проверки адекватности уравнения регрессии найдем расчетные значения функции отклика:

$$y_1^p = 128,75 + 13,75 \times (-1) - 16,25 \times (-1) = 131,25$$

$$y_2^p = 128,75 + 13,75 \times (+1) - 16,25 \times (-1) = 158,75$$

$$y_3^p = 128,75 + 13,75 \times (-1) - 16,25 \times (+1) = 98,75$$

$$y_4^p = 128,75 + 13,75 \times (+1) - 16,35 \times (+1) = 126,25$$

Оценка дисперсии адекватности определяется по формуле

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{N - B} \sum_{j=1}^N (y_j^э - y_j^p)^2 \quad (8)$$

где B – число коэффициентов регрессии искомого уравнения, включая и свободный член;

$y_j^э, y_j^p$ – экспериментальное и расчетное значение функции отклика в j -м опыте;

N – число опытов полного факторного эксперимента.

Выполним расчет в соответствии с формулой (8)

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{4 - 3} \times ((100 - 131,25)^2 + (125 - 158,75)^2 + (130 - 98,75)^2 + (160 - 126,25)^2) = 223$$

С дисперсией связано число степеней свободы $f = N - B = 4 - 3 = 1$

Расчетное значение критерия Фишера находим по формуле

$$F_p = \frac{\max (s_{ад}^2, s_y^2)}{\min (s_{ад}^2, s_y^2)} \quad (9)$$

Выполним расчет в соответствии с формулой (9)

$$F_p = \frac{223}{64} = 3,32$$

Уравнение регрессии считается адекватным, если выполняется условие

$$F_p \leq F$$

где F – значение критерия Фишера (из таблицы 4).

$$3,32 \leq 10,13$$

Полученное значение не превосходит значения, приведенного в таблице 4. Следовательно, уравнение регрессии адекватно.

На рисунке 2 представлена диаграмма распределения удельного сопротивления после оптимизации.

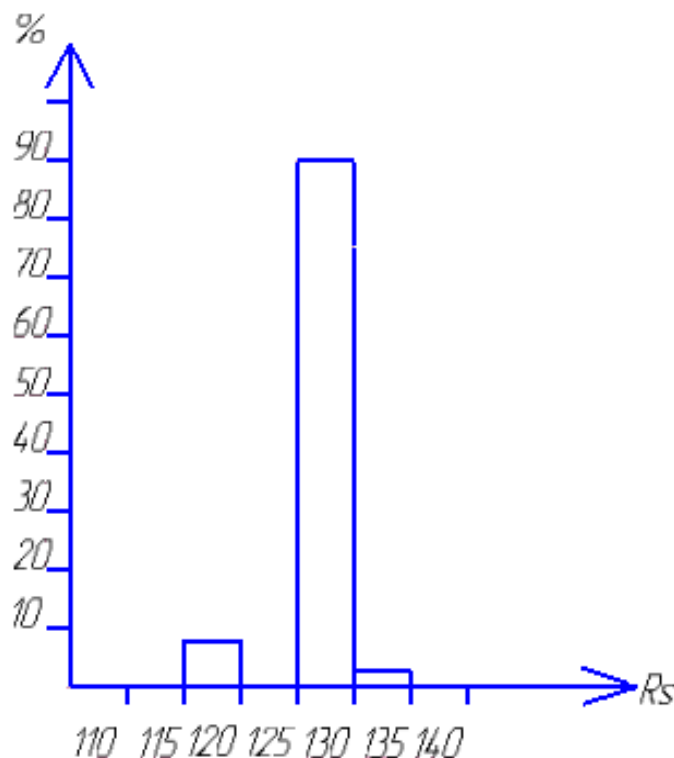


Рисунок 2 – Диаграмма распределения после оптимизации

Таблица 3 - Значения критерия Стьюдента ($P = 0.95$)

F	t	F	t
1	12.71	11	2.20
2	4.30	12	2.18
3	3.18	13	2.16
4	2.78	14	2.14
5	2.57	15	2.13
6	2.45	16	2.12
7	2.36	17	2.11
8	2.31	18	2.10
9	2.26	19	2.09
10	2.23	20	2.09

Таблица 4 – Значения критерия Фишера ($P = 0.95$)

Число степеней свободы f_2	Число степеней свободы f_1 (для числителя)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	161.45	199.5	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88
2	18.51	19.0	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.24
10	4.97	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.10	3.01	2.95
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59
17	4.45	3.59	3.20	2.97	2.81	2.70	2.71	2.55
18	4.41	3.56	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45

Таким образом, путем проведения двухфакторного эксперимента были проанализированы экспериментальные и расчетные данные проведения технологического процесса ионного легирования фосфором на установке «Везувий 5» и рассмотрены различные сочетания значений энергии и тока.

Наиболее оптимальными режимами процесса являются:

- 1) энергия процесса - 95кэВ;
- 2) ток - 4,1 мкА.

Тема 4.2 Моделирование систем массового обслуживания

Система массового обслуживания (СМО) - математическая модель, разработанная для описания сложных систем обслуживания, включая производственные процессы, связь, транспорт и т.д. Примером технологической СМО является сборочный конвейер, который имеет определенное число рабочих мест и средств обслуживания, называемых каналами.

В СМО каждая заявка или требование помимо момента поступления характеризуется рядом непрерывных и дискретных параметров. Такую заявку можно рассматривать как случайный фактор. Последовательность заявок есть поток случайных факторов, основные характеристики которого следующие:

- ординарность, означающая, что в каждый момент времени в систему поступает не более одной заявки
- стационарность - вероятность поступления в систему за интервал времени определенного количества заявок зависит от длительности интервалов
- отсутствие последствия - количество заявок, поступивших в систему за данный интервал, не зависит от числа заявок, поступивших ранее.

При исследовании сложных систем, к которым относится ТП, методом статического моделирования на ЭВМ необходимо: составить содержательное описание процесса; построить формализованную схему процесса; составить моделирующий алгоритм; выбрать методики получения числовых результатов и использовать их для анализа и синтеза ТС.

Содержательное описание в словесном выражении концентрирует сведения о физической природе и количественных характеристиках элементов исследуемого процесса, о степени и характере их взаимодействия, о месте и значении каждого элемента в общем процессе функционирования рассматриваемой реальной системы. Содержательное описание может быть составлено в результате обстоятельного изучения процесса при проведении натурального эксперимента на реально существующих аппаратуре, оборудовании и фиксации количественных характеристик их работы. В тех случаях, когда соответствующие аппаратура и оборудование реально не существуют, а имеются только в виде проектов, для составления содержательного описания процесса используют накопленный опыт и результаты наблюдения за процессами функционирования аналогичных систем с учетом особенностей исследуемой системы.

Тема 5.1 Технологическое оснащение и правила его выбора.

Технологическая оснастка представляет собой дополнительные или вспомогательные устройства, предназначенные для реализации технологических возможностей оборудования или работающие автономно на рабочем месте с использованием ручного, пневматического, электромеханического и других приводов. Технологическая оснастка применяется для выполнения следующих операций:

- подготовка выводов радиоэлементов к монтажу (гибка, обрезка, формовка, лужение);
- подготовка проводов и кабелей к монтажу (снятие изоляции, зачистка, заделка, маркировка, вязка жгутов, лужение);
- механосборка (расклепка, развальцовка, запрессовка, расчеканка, свинчивание, стопорение резьбовых соединений);
- установка радиоэлементов на печатные платы (укладка, закрепление, склеивание);
- монтажные работы (пайка, сварка, накрутка, демонтаж элементов);
- регулировочные и контрольные операции (подстройка параметров, визуальный и автоматический контроль) и т. д.

Цель разработки технологической оснастки - механизация или автоматизация отдельных операций технологического процесса. Технологическую оснастку выбирают в соответствии с ГОСТ 14.305-73 путем сравнения вариантов и определения принадлежности к стандартным системам оснастки. На этом этапе используются отраслевые стандарты (ОСТ 4Г0.054.263 - ОСТ 4Г0.054.268), научно-техническая, патентная и справочная литература.

Эффективность выбора технологической оснастки определяется коэффициентом ее загрузки и затратами на оснащение технологических операций. Коэффициент загрузки единицы технологической оснастки

$$K_3 = T_{шк}K/\Phi$$

Самоконтроль знаний

Тема 1.1. Системный подход к технологии производства. Структура производственного процесса.

- 1 Опишите понятие «производственный процесс».
- 2 Перечислите, что входит в производственный процесс.
- 3 Опишите, что является основной частью технологического процесса.
- 4 Перечислите типы производства.
- 5 Охарактеризуйте коэффициент закрепления операции.
- 6 Поясните понятие такт выпуска.
- 7 Опишите единичное производство.
- 8 Охарактеризуйте понятие «установ».
- 9 Охарактеризуйте технологический процесс.
- 10 Приведите пример технологического процесса.

Тема 2.1 Технологичность конструкций. Выбор оптимального варианта ТП. Оформление технологической документации.

- 1 Охарактеризуйте понятие «технологичность».
- 2 Опишите производственную технологичность.
- 3 Опишите эксплуатационную технологичность.
- 4 Опишите для чего необходима маршрутная карта.
- 5 Перечислите виды технологической документации.
- 6 Опишите, как можно оценить технологичность конструкции.
- 7 Опишите показатели технологичности.
- 8 Охарактеризуйте базовые показатели технологичности.
- 9 Опишите, какие мероприятия необходимо произвести для повышения технологичности конструкции.
- 10 Опишите, что используется при выборе оптимального варианта технологического процесса.

Тема 3.1 Производственные погрешности. Обеспечение заданной точности ТП. Надежность ТП.

- 1 Опишите понятие «погрешность».
- 2 Перечислите виды производственных погрешностей.
- 3 Опишите, какие факторы вызывают производственные погрешности.
- 4 Охарактеризуйте понятие «технологическая точность».
- 5 Опишите понятие надежность технологического процесса.
- 6 Опишите понятие точности технологического процесса.
- 7 Перечислите способы обеспечения заданной точности технологического процесса.
- 8 Опишите случайную погрешность.

9 Приведите пример случайной погрешности в технологическом процессе.

10 Приведите пример систематической погрешности в технологическом процессе.

Тема 4.1 Оптимизация ТП с использованием полного факторного эксперимента (ПФЭ), управление регрессии, симплексного метода. Оптимизация ТП с помощью симплексного метода.

1 Опишите, в чем заключается ценность математического описания.

2 Опишите метод полного факторного эксперимента.

3 Опишите уравнение регрессии.

4 Опишите составление матрицы планирования.

5 Опишите симплексный метод.

6 Охарактеризуйте сравнение между собой опытов в симплексном методе.

7 Опишите локальный метод поиска экстремума.

8 Опишите сущность симплексного метода оптимизации технологического процесса.

9 Сравните метод полного факторного эксперимента и симплексный метод.

10 Опишите достоинства симплексного метода оптимизации технологического процесса.

Тема 4.2 Моделирование систем массового обслуживания.

1 Опишите понятие «система массового обслуживания».

2 Приведите пример системы массового обслуживания на производстве.

3 Опишите параметры систем массового обслуживания.

4 Опишите основные характеристики систем массового обслуживания.

5 Опишите метод статического моделирования.

6 Опишите содержательное описание при статическом моделировании.

Тема 5.1 Технологическое оснащение и правила его выбора.

1 Опишите понятие «оснастка».

2 Приведите пример оснастки в технологическом процессе производства ИМС.

3 Опишите применение технологической оснастки.

4 Опишите цель разработки технологической оснастки.

5 Опишите, чем определяется эффективность выбора технологической оснастки.

6 Опишите требования к технологической оснастке.

7 Опишите этапы проектирования технологической оснастки.

8 Приведите пример монтажных работ с технологической оснасткой.

Примерный перечень вопросов к ОКР

- 1 Опишите системный подход к технологии и иерархические уровни производства.
- 2 Опишите структуру производственного процесса, виды и типы технологических процессов.
- 3 Опишите выбор оптимального варианта технологического процесса.
- 4 Опишите разработку и оформление технологической документации.
- 5 Опишите производственные погрешности и законы их распределения.
- 6 Опишите точность и устойчивость технологических процессов.
- 7 Опишите методы обеспечения заданной точности технологических процессов.
- 8 Опишите модели технологических систем и их основные показатели.
- 9 Опишите процесс функционирования технологической системы.
- 10 Опишите прогнозирование качества функционирования технологической системы.
- 11 Опишите регрессионный метод.
- 12 Опишите оптимизацию технологических процессов методом полного факторного эксперимента.
- 13 Опишите оптимизацию технологических процессов симплексным методом.

Перечень учебных изданий и информационно - аналитических материалов

- 1) Достанко, А. П. Технология и автоматизация производства РЭА / А. П. Достанко . - М., 1989
- 2) Емельянов, В. А. Моделирование и оптимизация технологических процессов / В. А. Емельянов. - Минск, 1996
- 3) Павловский, В. В. Проектирование технологических процессов и изготовление РЭА / В. В. Павловский. - М.: Радио и Связь, 1992
- 4) Ушаков, И. И. Технология производства ЭВМ / И. И. Ушаков. - М. : Высшая Школа, 1991
- 5) Емельянов, В. А. Системы качества МЭ / В. А. Емельянов. - Минск, 1997
- 6) Чернышёв, А. А. Основы надёжности полупроводниковых приборов и ИМС / А. А. Чернышёв. - М.: Радио и Связь, 1988
- 7) Статистические методы повышения качества, перевод с англ. под редакцией Хитоси Куше. - М. 1990