

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 04.05.2023 13:49:08  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
«17» мая 2019 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ**  
**В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ**

Направление подготовки

**09.04.01 Информатика и вычислительная техника**

Направленность программы магистратуры

**Информационное и программное обеспечение автоматизированных систем**

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**Заочная**

Факультет **информационных технологий и управления**

Кафедра **систем автоматизированного проектирования и управления**

Санкт-Петербург  
2019

**Б1.В.02**

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, инициалы, фамилия
Доцент		Доцент И.А. Смирнов
Доцент		Доцент А.Г. Хайдаров
Аспирант		О.Е. Шашихина

Рабочая программа дисциплины «Современные методы моделирования и оптимизации в автоматизированных системах» обсуждена на заседании кафедры систем автоматизированного проектирования и управления  
протокол от «18» апреля 2019 № 9  
Заведующий кафедрой

Т.Б. Чистякова

Одобрено учебно-методической комиссией факультета информационных технологий и управления  
протокол от «15» мая 2019 № 9  
Председатель

В.В. Куркина

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Информатика и вычислительная техника»		профессор Т.Б. Чистякова
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник учебно-методического управления		С.Н. Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	04
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	05
3. Объем дисциплины .....	05
4. Содержание дисциплины	
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	05
4.2. Занятия лекционного типа.....	06
4.3. Занятия семинарского типа.....	07
4.3.1. Семинары, практические занятия .....	07
4.3.2. Лабораторные занятия.....	08
4.4. Самостоятельная работа обучающихся.....	08
4.5. Темы контрольных работ.....	9
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	15
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	15
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....	16
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	17
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	17
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии.....	18
10.2. Программное обеспечение.....	18
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	18
11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы .....	18
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	18

Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате освоения образовательной программы магистратуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<b>ПК-6</b> Способен осуществлять управление работами по компьютерному проектированию технологических процессов изготовления изделий	<b>ПК-6.1</b> Разработка алгоритмов поиска проектных решений для технологических процессов на основе современных методов моделирования	<b>Знать:</b> основные теоретические положения метода конечных элементов (МКЭ) и методологию конечно-элементного анализа (Зн-1). <b>Уметь:</b> выполнять автоматизированные расчеты с помощью специализированных программных комплексов на основе метода конечных элементов (У-1). <b>Владеть:</b> навыками алгоритмизации задач проектирования химико-технологических объектов (ХТО) с использованием МКЭ (Н-1);
<b>ПК-7</b> Способен организовывать проведение работ по проектированию автоматизированных систем управления производством	<b>ПК-7.1</b> Применение современных методов оптимизации при проектировании компонентов автоматизированных систем управления производством	<b>Знать:</b> основные положения теории одноцелевой и многоцелевой оптимизации с использованием эволюционных алгоритмов (Зн-2). <b>Уметь:</b> осуществлять поиск оптимальных проектных решений с использованием генетических алгоритмов (У-2). <b>Владеть:</b> навыками генетического программирования при решении задач одноцелевой и многоцелевой оптимизации (Н-2).

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина относится к дисциплинам вариативной части (Б1.В.02) и изучается на 2 курсе в 3 и 4 семестрах.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Интегрированные системы проектирования и управления» и «Теоретические и экспериментальные методы исследования в химической технологии». Полученные в процессе изучения дисциплины «Современные методы моделирования и оптимизации в автоматизированных системах» знания, умения и навыки могут быть использованы при изучении дисциплин «Математические методы и программные средства моделирования химико-технологических процессов и систем», «Интеллектуальные информационные технологии», при прохождении производственной практики, а также при выполнении выпускной квалификационной работы (магистерской диссертации).

## 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, ЗЕ/акад. часов
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	<b>5/180</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>16</b>
занятия лекционного типа	8
занятия семинарского типа, в т.ч.	8
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)	8 (2)
лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)	–
курсовое проектирование (КР или КП)	–
КСР	–
другие виды контактной работы	–
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>155</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	3 Кр
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	<b>Экзамен / 9</b>

#### 4. Содержание дисциплины.

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, академ. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, академ. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы			
1.	Введение в дисциплину «Современные методы моделирования и оптимизации в автоматизированных системах»	1	2	-	5	ПК-6, ПК-7	ПК-6.1, ПК-7.1
2.	Освоение эволюционных алгоритмов	1	2	-	23	ПК-7	ПК-7.1
3.	Изучение генетических алгоритмов	4	2	-	89	ПК-7	ПК-7.1
4.	Освоение методов многокритериальной оптимизации	1	-	-	20	ПК-7	ПК-7.1
5.	Изучение метода конечных элементов	1	2	-	18	ПК-6	ПК-6.1

##### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, академ. часы	Инновационная форма
1	<u>Постановка задачи моделирования и оптимизации.</u> Классический подход к разработке математических моделей. Типы ММ. ММ как основа оптимизации в автоматизированных системах.	1	ЛВ
2	<u>Эволюционные алгоритмы.</u> Генетика и основы эволюции. Биологические предпосылки и общая схема эволюционных алгоритмов.	1	ЛВ
3	<u>Генетические алгоритмы.</u> Характеристика и общая схема генетических алгоритмов. Представление генетической информации. Методы кодирования исходной информации в виде хромосом. Дискретное, вещественное и порядковое кодирование информации.	1	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
3	<u>Основные операторы генетического алгоритма. Оператор мутации. Оператор скрещивания (кроссовера).</u> Мутации для представления с вещественными, бинарными и порядковыми значениями.	1	ЛВ
3	<u>Основные операторы генетического алгоритма. Оператор мутации. Оператор скрещивания (кроссовера).</u> Скрещивания (кроссоверы) для представления с вещественными, бинарными и порядковыми значениями.	0,5	ЛВ
3	<u>Генетическое программирование.</u> Проверка эффективности работы генетических алгоритмов на тестовых функциях. Особенности применения эволюционных алгоритмов для решения задачи оптимизации химико-технологических объектов.	0,5	ЛВ
3	<u>Оптимизация пчелиным роем.</u> Бионические предпосылки оптимизации пчелиным роем. Пчелиный алгоритм. Алгоритм колонии искусственных пчел.	1	ЛВ
4	<u>Методы многокритериальной оптимизации.</u> Постановка задачи многокритериальной оптимизации. Критерии оптимальности в многокритериальной оптимизации.	1	ЛВ
5	Метод конечных элементов (МКЭ). Алгоритм метода конечных элементов. Функции формы конечного элемента. Алгоритм вычисления вектора узловых значений функции, основанный на минимизации функционала, связанного с физическим смыслом решаемой задачи. Матрица жесткости. Вектор нагрузки.	1	ЛВ

### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку	
1,2	Разработка программного обеспечения для решения задачи оптимизации химико-технологических объектов методом полного перебора.	2	0,5	КтСм

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, acad. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку	
2	Разработка программного обеспечения для решения задачи оптимизации химико-технологических объектов с использованием генетического алгоритма.	2	0,5	КтСм
3	Разработка интегрированного программного комплекса для решения задачи оптимизации химико-технологических объектов, включающего библиотеку различных методов оптимизации и систему визуализации результатов.	2	0,5	КтСм
5	Автоматизированный расчет влияния температуры на деформацию ХТО. Построение трехмерных объектов. Создание сетки и решателя для объектов. Настройка ограничений для решения задачи. Настройка воздействующего теплового потока. Настройка первоначального значения.	2	0,5	КтСм

#### 4.3.2. Лабораторные занятия.

Учебным планом не предусмотрены.

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, acad. часы	Форма контроля
1	Примеры постановок оптимизационных задач в АС. Основные методы решения практических задач оптимизации.	5	Устный опрос
3	<u>Основные операторы генетического алгоритма. Оператор отбора.</u> Операторы управления популяцией. Оценка пригодности индивида. Операции селекции. Применение основных операторов генетического алгоритма для решения задачи оптимизации. Критерии останковки алгоритма.	15	Устный опрос
2	Гибридизация популяционных и эволюционных алгоритмов.	23	Устный опрос
3	<u>Популяционные оптимизационные алгоритмы.</u> Оптимизация роом частиц. Канонический алгоритм роя частиц. Понятия «собственный путь» и «локальный путь» частицы.	15	Устный опрос
3	<u>Метод колонии муравьев.</u> Бионические пред-	15	Устный опрос

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
	посылки муравьиных алгоритмов оптимизации. Алгоритм непрерывной оптимизации колонией муравьев.		
3	Популяционные алгоритмы, инспирированные неживой природой, человеческим обществом, и другие популяционные алгоритмы.	23	Устный опрос
4	<u>Принцип оптимальности Парето.</u> Критерий Парето, принцип оптимальности Парето. Методы скаляризации для получения оптимальных по Парето решений.	10	Устный опрос
4	Классические алгоритмы решения задачи многокритериальной оптимизации. Эволюционные и популяционные алгоритмы многокритериальной оптимизации.	10	Устный опрос
3	Метаоптимизация популяционных алгоритмов.	21	Устный опрос
5	Выделение конечных элементов. Разбиение двумерной области произвольной формы на треугольные конечные элементы. Нумерация узлов элементов. Число степеней свободы. Ширина полосы матрицы ленточной структуры. Топологическая информация о разбиении области на конечные элементы. Алгоритмы формирования межузловых связей. Алгоритмы разбиения области произвольной формы на треугольные и прямоугольные конечные элементы. Обзор программного обеспечения.	6	Устный опрос
5	Структура современных программных комплексов конечно-элементного анализа. Препроцессор, процессор (решатель), постпроцессор. Алгоритм работы препроцессора. Организация расчета по методу конечных элементов. Автоматическое построение сетки. Методы создания узлов: метод Кавендиша, метод Шимады. Методы построения элементов: метод Ли, триангуляция Делоне.	6	Устный опрос
5	Сравнение МКЭ, МКР и МГЭ. Существенные отличия методов их общие черты. Применение методов. Размерность решаемых задач. Точность и распределение погрешности.	6	Устный опрос

#### 4.5. Темы контрольных работ.

##### Контрольная работа №1 «Автоматизированный расчет влияния температуры на деформацию ХТО»

С помощью метода конечных элементов на базе параметрической САПР общего назначения с открытыми исходными кодами FreeCade

произвести расчет деформации под влиянием температуры на два совмещенных стальных бруса с разными параметрами материала. Привести анализ полученных результатов. Варианты заданий приведены в таблице 1.

Таблица 1– Варианты для контрольной работы №1

вариант	материал 1 стержня	материал 2 стержня	t0	t1
1	PET-Generic	Glass-Generic	509	389
2	Steel-2C10	PP-Generic	572	398
3	Acrylic-Glass-Generic	Steel-C10	502	394
4	PLA-Generic	Steel-3C35	537	324
5	AlMg3F24	Steel-1C22	579	364
6	Concrete-Generic	Steel-E360	571	329
7	Glass-Generic	Concrete-Generic	590	394
8	Calculix-Steel	Glass-Generic	570	366
9	Aluminum-6061-T6	PET-Generic	595	397
10	PP-Generic	Steel-2C10	512	305
11	AlMgSiF31	Acrylic-Glass-Generic	581	348
12	Steel-C10	PLA-Generic	563	354
13	AlZn4-5Mg1F35	AlZn4-5Mg1F35	575	336
14	Steel-C15	Steel-C15	555	354
15	Steel-3C35	Calculix-Steel	517	326
16	Steel-1C22	Aluminum-6061-T6	544	308
17	Steel-E360	PP-Generic	590	342
18	Concrete-Generic	Steel-C15	584	369
19	Glass-Generic	Calculix-Steel	534	387
20	Glass-Generic	Aluminum-6061-T6	506	400
21	PP-Generic	PP-Generic	542	349
22	Steel-C10	AlMgSiF31	505	318
23	Steel-3C35	Steel-C10	563	368
24	Steel-C10	AlZn4-5Mg1F35	589	395
25	AlZn4-5Mg1F35	Steel-C15	599	380
26	Steel-C15	Acrylic-Glass-Generic	519	379
27	Calculix-Steel	PLA-Generic	554	382
28	Aluminum-6061-T6	AlMg3F24	554	322
29	PP-Generic	Concrete-Generic	585	360
30	AlMgSiF31	Glass-Generic	521	315

Контрольная работа №2 «Разработка программного обеспечения для решения задачи оптимизации химико-технологических объектов методом полного перебора».

Контрольная работа №3 «Разработка программного обеспечения для решения задачи оптимизации химико-технологических объектов с использованием генетического алгоритма».

В контрольных работах №2 и №3 необходимо разработать программный код, реализующий различные методы для решения задачи оптимизации конкретного химико-технологического объекта. Варианты ХТО:

#### Вариант № 1

Объектом оптимизации является химико-технологическая система, состоящая из двух реакторов непрерывного действия. В них в результате химического взаимодействия из двух сырьевых компонентов, объемные расходы которых  $A_1$  и  $A_2$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ), образуется целевой компонент в количестве  $C$  ( $\text{кг}/\text{ч}$ ). Для исследования процесса разработана эмпирическая математическая модель, в соответствии с которой количество  $C$  зависит от объемных расходов компонентов по следующему правилу:

$$C = \alpha (A_1^2 + \beta A_2 - \mu V_1)^N + \alpha_1 (\beta_1 A_1 + A_2^2 - \mu_1 V_2)^N,$$

где  $\alpha, \alpha_1, \beta, \beta_1, \mu, \mu_1$  – нормирующие коэффициенты, равные 1;

$N$  – количество реакторов ( 2 шт.);

$V_1$  и  $V_2$  – рабочие объемы реакторов (11 и 7  $\text{м}^3$  соответственно).

Технологическим регламентом установлены следующие требования к проведению процесса. Объемные расходы сырьевых компонентов  $A_1$  и  $A_2$  могут изменяться в диапазоне от 1 до 10  $\text{м}^3/\text{ч}$  соответственно; кроме того, необходимо, чтобы суммарная производительность реакторов была не больше 8  $\text{м}^3/\text{час}$ .

Необходимо найти такие условия проведения процесса ( значения  $A_1$  и  $A_2$  ), при которых обеспечивается максимальный выход целевого компонента в кг за рабочую смену ( 8 часов). Точность решения – 1кг.

#### Вариант №2

Объектом оптимизации является процесс фильтрования с использованием установки, имеющей две фильтрационные перегородки, на каждой из которых поддерживается свой температурный режим. Известно, что объем фильтрата  $V$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) связан с температурами  $T_1$  и  $T_2$  на каждой перегородке следующим образом:

$$V = \alpha \cdot (T_1 - \beta \cdot \Delta p_1) \cdot \cos(\gamma \cdot \Delta p_2 \sqrt{T_1^N + T_2^N}),$$

где  $\Delta p_1$  и  $\Delta p_2$  – величина перепада давлений на каждой перегородке (Кпа);  
 $\Delta p_1 = \Delta p_2 = 1$ ;

$\alpha, \beta, \gamma$  – нормирующие множители;  $\alpha = \beta = 1$ ;  $\gamma = 3.14$ ;

$N$  – количество перегородок ( 2 шт.).

Для эффективного фильтрования необходимо, чтобы температура на первой перегородке была не ниже  $-3^\circ\text{C}$  и не выше  $0^\circ\text{C}$ , а на второй – не выше  $3^\circ\text{C}$  и не ниже  $-0,5^\circ\text{C}$ , кроме того, должно выполняться условие:  $T_2 - T_1 \geq 3$ .

Необходимо определить такой температурный режим проведения процесса ( значения  $T_1$  и  $T_2$  ), при котором обеспечивается максимальный выход фильтрата в  $\text{м}^3$  за рабочую смену ( 8 часов). Точность решения  $-0,01 \text{ м}^3$ .

#### Вариант №3

Необходимо найти габаритные размеры теплообменного устройства химического реактора ( длину  $L$  (м) и ширину  $S$  (м) ), обеспечивающие минимальные затраты на изготовление изделия. Затраты на изготовление изделия связана с его весом. Зависимость веса изделия  $P$  от геометрических размеров и заданных характеристик теплообменника определяется по формуле:

$$P = \alpha * (L - S)^2 + \beta * 1 / H * (S + L - \gamma * N)^2,$$

где  $H$  – высота теплообменника (9 м),

$N$  – число витков змеевика (10 шт),

$\alpha, \beta, \gamma$ , – нормирующие множители, равные 1.

На габариты теплообменника накладываются следующие ограничения. Длина  $L$  должна быть не менее 1 м и не более 15 м, ширина  $S$  – не менее 1м и не более 12 м. Кроме того, обязательно должно выполняться условие : сумма (  $L+S$  ) должна быть не менее 12 м. Стоимость изготовления 1 кг изделия составляет 100 у.е. Точность решения – 1у.е.

#### Вариант №4

Объектом оптимизации является химический реактор, в котором происходит образование целевого компонента. Реактор оборудован двумя теплообменными устройствами: змеевиком и диффузором. Необходимо определить температурные условия технологического процесса, обеспечивающие минимальную себестоимость целевого компонента. Согласно эмпирической математической модели, количество получаемого целевого компонента  $S$  ( кг) связано с параметрами процесса следующим образом:

$$S = \alpha * G * ( (T_2 - \beta * A)^N + \mu * \exp(T_1 + T_2) ^N + \Delta * ( T_2 - T_1 ) ),$$

Где  $\alpha, \beta, \mu, \Delta$  - нормирующие множители, равные 1;

$G$  - расход реакционной массы ( 1кг/ч);

$A$  - давление в реакторе ( 1 Кпа);

$N$  - количество теплообменных устройств ( 2 шт.);

$T_1, T_2$  - температуры в теплообменных устройствах ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Регламентом установлено, что температура в змеевике может изменяться в диапазоне от  $-18$  до  $7^{\circ}\text{C}$ , в диффузоре - от  $-8$  до  $8^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, должно выполняться условие  $T_2 - T_1 \geq 2$ . Себестоимость 1 кг целевого компонента составляет 10 у.е. Точность решения – 0,1у.е.

#### Вариант №5

Объектом оптимизации является химический реактор, в котором происходит образование целевого компонента. Реактор оборудован мешалкой и двумя теплообменными устройствами: змеевиком и рубашкой. Необходимо определить температурные условия технологического процесса, обеспечивающие минимальную себестоимость целевого компонента. Согласно эмпирической математической модели, количество получаемого целевого компонента  $S$  (кг) связано с параметрами процесса следующим образом:

$$S = \alpha \cdot (G \cdot \mu \cdot ((T_2 - T_1)^N + (\beta \cdot A - T_1)^N)),$$

где  $\alpha, \beta, \mu$ , - нормирующие множители, равные 1;

$G$  - расход реакционной массы (2 кг/ч);

$A$  - давление в реакторе (1 Кпа);

$N$  - скорость вращения мешалки (2 об/с);

$T_1, T_2$  - температуры в теплообменных устройствах (°C).

Регламентом установлено, что температура в змеевике может изменяться в диапазоне от -3 до 3 °C, в рубашке - от -2 до 6 °C. Кроме того, должно выполняться условие  $T_1 + 0.5 \cdot T_2 \leq 1$ .

Себестоимость 1 кг целевого компонента составляет 100 у.е. Точность решения – 0,1 у.е.

#### Вариант № 6

Объектом оптимизации является химико-технологическая система, состоящая из двух реакторов непрерывного действия. В них в результате химического взаимодействия из двух сырьевых компонентов, объемные расходы которых  $A_1$  и  $A_2$  (м<sup>3</sup>/ч), последовательно образуется целевой компонент в количестве  $C$  (кг/ч). Для исследования процесса разработана эмпирическая математическая модель, в соответствии с которой количество  $C$  зависит от объемных расходов компонентов по следующему правилу:

$$C = \alpha (A_1^2 + \beta A_2 - \mu V_1)^N + \alpha_1 (\beta_1 A_1 + A_2^2 - \mu_1 V_2)^N,$$

где  $\alpha, \alpha_1, \beta, \beta_1, \mu, \mu_1$  – нормирующие коэффициенты, равные 1;

$N$  – количество реакторов (2 шт.);

$V_1$  и  $V_2$  – рабочие объемы реакторов (11 и 7 м<sup>3</sup> соответственно).

Технологическим регламентом установлены следующие требования к проведению процесса. Объемные расходы сырьевых компонентов  $A_1$  и  $A_2$  могут изменяться в диапазоне от 1 до 10 м<sup>3</sup>/ч соответственно; кроме того, необходимо выполнение условия:  $4 \cdot A_1 + 5 \cdot A_2 \leq 20$  м<sup>3</sup>/ч.

Необходимо найти такие условия проведения процесса (значения  $A_1$  и  $A_2$ ), при которых обеспечивается минимальная себестоимость целевого компонента за рабочую

смену ( 8 часов), учитывая, что себестоимость 1 кг составляет 100 у.е. Точность решения – 1у.е.

#### Вариант №7

Объектом оптимизации является процесс фильтрования с использованием установки, имеющей две фильтрационные перегородки, на каждой из которых поддерживается свой температурный режим. Известно, что объемный расход фильтрата  $V(\text{м}^3/\text{ч})$  связан с температурами  $T_1$  и  $T_2$  на каждой перегородке следующим образом:

$$V = \alpha * G * (T_1^2 + \beta T_2 - \mu \Delta p_1)^N + \gamma (\beta T_1 + T_2^2 - \mu_1 \Delta p_2)^N,$$

где  $\Delta p_1$  и  $\Delta p_2$  – величина перепада давлений на каждой перегородке (Кпа);

$$\Delta p_1 = 11 \text{ Кпа}, \quad \Delta p_2 = 7 \text{ КПА};$$

$N$  – количество перегородок ( 2 шт.);

$G$  – общий расход фильтрующей жидкости, равный  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;

$\alpha, \beta, \mu, \gamma, \beta_1, \mu_1$  – нормирующие множители, равные 1.

Для эффективного фильтрования необходимо, чтобы температура на первой перегородке была не ниже  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$  и не выше  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , а на второй – не выше  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  и не ниже  $-1 \text{ }^\circ\text{C}$ ; кроме того, должно выполняться условие:  $0.5 T_1 + T_2 \leq 1 \text{ }^\circ\text{C}$

Необходимо определить такой температурный режим проведения процесса ( значения  $T_1$  и  $T_2$  ), при котором обеспечивается минимальная себестоимость фильтрата за рабочую смену ( 8 часов) с учетом того, что  $1 \text{ м}^3$  фильтрата обходится в 10 у.е. Точность решения – 0,1у.е.

#### Вариант №8

Объектом оптимизации является химический реактор, в котором происходит образование целевого компонента. Реактор оборудован двумя теплообменными устройствами: змеевиком и диффузором. Необходимо определить температурные условия технологического процесса, обеспечивающие максимальную прибыль от реализации целевого компонента. Согласно эмпирической математической модели, количество получаемого целевого компонента  $S$  ( кг) связано с параметрами процесса следующим образом:

$$S = \alpha * G * (T_2 - \beta * A)^N + \mu * \exp(T_1 + T_2)^N + \Delta * (T_2 - T_1),$$

Где  $\alpha, \beta, \mu, \Delta$  - нормирующие множители, равные 1;

$G$  - расход реакционной массы ( 1кг/ч);

$A$  - давление в реакторе ( 1 Кпа);

$N$  - количество теплообменных устройств ( 2 шт.);

$T_1, T_2$  - температуры в теплообменных устройствах ( $^\circ\text{C}$ ).

Регламентом установлено, что температура в змеевике может изменяться в диапазоне от  $-18$  до  $7 \text{ }^\circ\text{C}$ , в диффузоре - от  $-8$  до  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Кроме того, должно выполняться

условие  $T_1 + T_2 \leq 4^\circ\text{C}$ . Прибыль от реализации 1 кг целевого компонента составляет 10 у.е. Точность решения – 1 у.е.

#### Вариант №9

Объектом оптимизации является химический реактор, в котором происходит образование целевого компонента. Реактор оборудован мешалкой и двумя теплообменными устройствами: змеевиком и рубашкой. Необходимо определить температурные условия технологического процесса, обеспечивающие максимальную прибыль от реализации целевого компонента. Согласно эмпирической математической модели, количество получаемого целевого компонента  $S$  ( кг) связано с параметрами процесса следующим образом:

$$S = \alpha * (G * \mu * ((T_2 - T_1)^N + (\beta * A - T_1)^N)),$$

где  $\alpha, \beta, \mu$ , - нормирующие множители, равные 1;

$G$  - расход реакционной массы ( 2кг/ч);

$A$  - давление в реакторе ( 1 Кпа);

$N$  - скорость вращения мешалки ( 2 об/с );

$T_1, T_2$  - температуры в теплообменных устройствах ( $^\circ\text{C}$ ).

Регламентом установлено, что температура в змеевике может изменяться в диапазоне от  $-3$  до  $3^\circ\text{C}$ , в рубашке - от  $-2$  до  $6^\circ\text{C}$ . Кроме того, должно выполняться условие  $T_1 - T_2 \geq -3^\circ\text{C}$ .

Прибыль от реализации 1 кг целевого компонента составляет 100 у.е. Точность решения – 1 у.е.

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <https://media.technolog.edu.ru>.

### **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена.

Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуется тремя вопросами.

При сдаче экзамена студент получает два теоретических вопроса для проверки знаний из перечня вопросов, приведенного в Приложении №1, а также один практический вопрос о функционировании программного комплекса, разработанного в рамках выполнения практических работ, для проверки умений и навыков (в соответствии с темами, приведенными в разделе 4.3.1).

Время подготовки студента к устному ответу – до 45 мин.

Пример варианта вопросов на экзамене:

**Вариант № 1**

1. Дайте классификацию задач оптимизации по виду целевой и ограничивающих функций, наличию и отсутствию ограничений, а также по их характеру.
2. Представьте схему канонического генетического алгоритма.
3. Расскажите о функционировании разработанного ПК

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций достигнут пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе – оценка «удовлетворительно».

**7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины.**

**а) печатные издания:**

1. Зарубин, В. С. Математическое моделирование в технике : учеб. для вузов / В. С. Зарубин. – 3-е изд. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 495 с.
2. Лесин, В. В. Основы методов оптимизации : Учебное пособие / В. В. Лесин, Ю. П. Лисовец. - 3-е изд., испр. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2011. – 341 с.
3. Марчук, Г. И. Методы вычислительной математики : учеб. пособие для вузов / Г. И. Марчук. – 4-е изд., стер. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2009. – 608 с.
4. Норенков, И. П. Автоматизированные информационные системы : учеб. пособие / И. П. Норенков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 342 с.
5. Смирнов И.А. Методы оптимизации. Базовый курс : Учебное пособие для заочной формы обучения направления подготовки "Информатика и вычислительная техника" / И. А. Смирнов ; СПбГТИ(ТУ). - СПб. : [б. и.], 2010. – 101 с.
6. Чистякова, Т. Б. Математическое моделирование химико-технологических объектов с распределенными параметрами : учеб. пособие для вузов / Т. Б Чистякова, А. Н. Полосин, Л. В. Гольцева. – СПб. : ЦОП «Профессия», 2010. – 240 с.

**б) электронные учебные издания:**

7. Алпатов, Ю.Н. Моделирование процессов и систем управления : учебное пособие / Ю.Н. Алпатов. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 140 с. — ISBN 978-5-8114-2993-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/106730> (дата обращения: 03.12.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
8. Гартман, Т.Н. Моделирование химико-технологических процессов. Принципы применения пакетов компьютерной математики : учебное пособие / Т.Н. Гартман, Д.В. Клушин. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 404 с. — ISBN 978-5-8114-3900-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/126905> (дата обращения: 03.12.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
9. Гумеров, А.М. Математическое моделирование химико-технологических процессов : учебное пособие / А.М. Гумеров. — 2-е изд., перераб. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 176 с. — ISBN 978-5-8114-1533-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/41014> (дата обращения: 03.12.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

10. Кузьмин, А. А. Расчет стержня переменного сечения : учебное пособие / А. А. Кузьмин, Э. А. Павлова ; СПбГТИ(ТУ). Каф. механики. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2016. – 26 с.

11. Ржевский, С.В. Математическое программирование : учебное пособие / С.В. Ржевский. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 608 с. — ISBN 978-5-8114-3853-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/123692> (дата обращения: 03.12.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

12. Чертовской, В.Д. Моделирование процессов адаптивного автоматизированного управления производством : монография / В.Д. Чертовской. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 200 с. — ISBN 978-5-8114-3668-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/119643> (дата обращения: 03.12.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

## **8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.**

учебный план, РПД и учебно-методические материалы: <http://media.technolog.edu.ru>  
сайт об инновациях в России <http://innovation.gov.ru>  
веб-страница журнала «Информационные технологии» <http://www.novtex.ru/IT>  
сайты информационных технологий: <http://inftech.webservis.ru>,  
<http://citforum.ru>  
информационно-аналитический портал «Научная электронная библиотека»  
<http://elibrary.ru>  
международные мультидисциплинарные аналитические реферативные базы данных научных публикаций <http://webofknowledge.com>, <http://scopus.com>  
электронно-библиотечные системы:  
«Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;  
«Лань» <https://e.lanbook.com/books/>

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Все виды занятий по дисциплине «Современные методы моделирования и оптимизации в автоматизированных системах» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП (СТО):

СТП СПбГТИ 040-02 КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014 КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению;

СТП СПбГТИ 048-2009 КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

плановость в организации учебной работы;  
серьезное отношение к изучению материала;  
постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходиться, имея знания по уже изученному материалу.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

чтение лекций с использованием слайд-презентаций;

взаимодействие с обучающимися посредством электронной информационно-образовательной среды.

### **10.2. Программное обеспечение.**

Операционная система Microsoft Windows 7, 8.1

Интегрированная среда разработки программного обеспечения: Microsoft Visual Studio 2008, 2010, 2012

Система управления базами данных: Microsoft Access 2007, 2013; Oracle.

Редактор диаграмм и блок-схем Microsoft Visio 2010

Офисный пакет программ LibreOffice

Приложение для математических и инженерных вычислений MathCAD 14

Параметрическая САПР общего назначения с открытыми исходными кодами FreeCade

### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы.**

Международные мультидисциплинарные аналитические реферативные базы данных научных публикаций Web of Science (режим доступа: <http://apps.webofknowledge.com>, свободный с любого зарегистрированного компьютера института), Scopus (режим доступа: <http://www.scopus.com>, свободный с любого зарегистрированного компьютера института);

справочно-поисковая система «КонсультантПлюс: Высшая школа» (режим доступа: <http://www.consultant.ru/hs>, свободный с любого зарегистрированного компьютера института).

## **11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы.**

Для ведения лекционных занятий используется аудитория, оборудованная средствами оргтехники, на 25 посадочных мест.

Для проведения семинарских занятий используется компьютерный класс, оборудованный персональными компьютерами, объединенными в сеть, например: класс интегрированных систем проектирования и управления химико-технологическими процессами, класс информационных и интеллектуальных систем.

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по  
дисциплине «Современные методы моделирования и оптимизации в автома-  
тизированных системах»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
ПК-6	Способность осуществлять управление работами по компьютерному проектированию технологических процессов изготовления изделий	промежуточный
ПК-7	Способность организовывать проведение работ по проектированию автоматизированных систем управления производством	промежуточный

## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-6.1</b> Разработка алгоритмов поиска проектных решений для технологических процессов на основе современных методов моделирования	<b>Правильно дает определение</b> основным теоретическим положениям МКЭ и рассказывает о методологии конечно-элементного анализа (Зн-1).	Правильные ответы на вопросы №1-11 к экзамену.	Перечисляет основные идеи МКЭ с ошибками.	Объясняет суть МКЭ без ошибок, но путается в типах конечных элементов.	Рассказывает основные идеи МКЭ, хорошо формулирует типы конечных элементов. Разбирается в методологии МКЭ.
	Объясняет выполнение автоматизированных расчетов с помощью специализированных программных комплексов на основе метода конечных элементов (У-1).	Результаты выполнения и защиты отчетов по практическим и контрольным работам.	С ошибками поясняет общий алгоритм статического расчета ХТО с использованием МКЭ.	Формирует общий алгоритм статического расчета ХТО с использованием МКЭ, но ошибается в отдельных операторах алгоритма.	Объясняет структуру алгоритма статического расчета ХТО с использованием МКЭ, поясняет смысл каждого оператора, отвечает на дополнительный вопрос о дискретизации расчетной области конструкции.
	Демонстрирует алгоритм решения задачи проектирования ХТО с использованием МКЭ (Н-1).	Результаты выполнения и защиты отчетов по практическим и контрольным работам.	Слабо ориентируется в алгоритме конечно-элементной расчетной схемы при проектировании ХТО.	Демонстрирует алгоритм конечно-элементной расчетной схемы с небольшими ошибками.	Демонстрирует хорошие навыки разработки алгоритма решения задачи проектирования ХТО на основе МКЭ, уверенно перечисляет основные этапы проектирования.
<b>ПК-7.1</b> Применение современных методов оптимизации при проектировании компонентов автоматизированных систем управления производством	Перечисляет основные положения теории одноцелевой и многоцелевой оптимизации с использованием эволюционных алгоритмов (Зн-2).	Правильные ответы на вопросы №12, 36-39 к экзамену.	Путается в определениях основных положений теории одноцелевой и многоцелевой оптимизации с использованием эволюционных алгоритмов.	Перечисляет основные положения теории одноцелевой и многоцелевой оптимизации с использованием эволюционных алгоритмов с небольшими ошибками	Уверенно и без ошибок перечисляет основные положения теории одноцелевой и многоцелевой оптимизации с использованием эволюционных алгоритмов.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	Поясняет поиск оптимальных проектных решений с использованием генетических алгоритмов (У-2).	Правильные ответы на вопросы № 13-35 к экзамену.	Неточно формулирует закономерности функционирования генетических алгоритмов.	Определяет закономерности функционирования генетических алгоритмов, но путается особенностях каждого алгоритма.	Уверенно и без ошибок объясняет закономерности функционирования генетических алгоритмов.
	Демонстрирует навыки генетического программирования при решении задач одноцелевой и многоцелевой оптимизации (Н-2).	Компьютерные симуляции результатов выполнения практических работ.	Путается при объяснении работы программы.	Демонстрирует разработанный программный комплекс, объясняет его функционирование, допускает отдельные ошибки при формализации задачи.	Хорошо разбирается в разработанном программном обеспечении, грамотно отвечает на дополнительные вопросы.

### **3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации**

#### **а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-6:**

- 1 Каким требованиям должен отвечать конечный элемент стержня?
- 2 Какие типы конечных элементов используются при расчете плоской стержневой системы?
- 3 Какие конечные элементы используются при расчете пластин, оболочек, массивных тел?
- 4 В чем суть (основная идея) метода конечных элементов?
- 5 Что такое дискретизация расчетной области конструкции при расчете МКЭ?
- 6 Перечислите основные шаги общего алгоритма статического расчета по МКЭ?
- 7 Конечные элементы, их типы. Степени свободы конечного элемента.
- 8 Конечно-элементная расчетная схема. Приведение нагрузки на систему к узловой.
- 9 Расскажите об общей концепции МКЭ.
- 10 Какие основные этапы должен пройти проектировщик ХТО при использовании МКЭ?
- 11 Расскажите о преимуществах и недостатках МКЭ.

#### **б) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-7:**

- 12 Схема канонического генетического алгоритма. Целевая функция в генетических алгоритмах.
- 13 Принципы формирования начальной популяции.
- 14 Определение кодирования исходной информации и разные способы кодирования хромосом.
- 15 Определение оператора в алгоритме и генетического оператора.
- 16 Определение оператора мутации. Виды операторов мутации.
- 17 Примеры бинарных операторов мутации, использующих инверсию одного или нескольких битов родительской особи, а также операторов, основанных на перестановке битов этой особи.
- 18 Определение оператора кроссовера и отличительные признаки различных операторов мутации.
- 19 Основные двухродительские и многородительские бинарные кроссоверы.
- 20 Пример вещественного кроссовера с тремя особями-потомками.
- 21 Методы управления популяцией, учитывающие приспособленность особей.
- 22 Пример метода управления популяцией, учитывающего как приспособленность особей, так и близость их генотипов.
- 23 Определение функции отбора. Основные классы функций отбора.
- 24 Примеры следующих методов селекции: случайный метод селекции, не учитывающий приспособленность и генотип особей; метод, использующий только приспособленность особей; метод, основанный на генотипе особей.
- 25 Понятие фитнес-функции. Методы масштабирования фитнес-функции.
- 26 Основные операторы алгоритма генетического программирования. Схема этого алгоритма.
- 27 Популяционные алгоритмы оптимизации. Основные понятия.
- 28 Схема канонического алгоритма роя частиц. Понятия собственный путь частицы и ее локальный путь.
- 29 Алгоритм колонии муравьев. Бионические предпосылки муравьиных алгоритмов оптимизации. Схема алгоритма колонии муравьев, основные этапы этого алгоритма.

30 Бионические предпосылки алгоритмов оптимизации пчелиным роем. Схема пчелиного алгоритма. Схема алгоритма колонии искусственных пчел. Основные операторы этих алгоритма.

31 Постановка задачи многоцелевой оптимизации.

32 Общие схемы решения задачи многоцелевой оптимизации.

33 Критерии оптимальности в многокритериальной оптимизации.

34 Принцип оптимальности Парето. Критерий оптимальности по Парето.

35 Методы скаляризации для получения оптимальных по Парето решений.

36 Дайте классификацию задач оптимизации по виду целевой и ограничивающих функций, наличию и отсутствию ограничений, а также по их характеру, размерности вектора варьируемых параметров, числу точек минимума, характеру искомого решения.

37 Расскажите о типах математических моделей, используемых в АС.

38 Расскажите об основных методах, применяемых для решения практических оптимизационных задач.

39 Приведите примеры постановки практической оптимизационной задачи.

#### **4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015 КС УКДВ. Порядок организации и проведения зачетов и экзаменов.

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Шкала оценивания на экзамене балльная («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»).