



**Оборотная сторона титульного листа РПД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**III. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

Рабочая программа дисциплины «Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем» разработана для студентов 2 курса по направлению 18.04.01 «Химическая технология» магистерская программа «Процессы и аппараты химической технологии (совместно с ПАО РОСНЕФТЬ)».

Курс Б1.В.ДВ.04.03 «Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем» относится к дисциплинам по выбору вариативной части учебного плана.

Курс «Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем» продолжает и углубляет профессиональную направленность содержания дисциплин «Методология научных исследований в области химических и ресурсосберегающих технологии», «Избранные главы процессов и аппаратов химической технологии», «Избранные главы химической технологии» магистратуры.

Содержание дисциплины охватывает следующий круг вопросов: получение студентами знаний по построению регрессионных моделей процессов химической технологии на основе дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализа, для использования этих моделей в управлении, получения умений по решению задач статической и динамической оптимизации химико-технологических процессов.

Знания, полученные при изучении дисциплины «Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем», могут быть использованы в научно-исследовательской работе студентов и при подготовке выпускной квалификационной работы.

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ:**

**Цель дисциплины:** овладеть знаний по построению регрессионных моделей процессов химической технологии на основе дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализа для использования этих моделей в управлении; по решению задач статической и динамической оптимизации химико-технологических процессов.

### **Задачи дисциплины:**

- овладение навыками построения регрессионных моделей и проверку их адекватности объекту.
- овладение навыками статической и динамической оптимизации.

– овладение аналитическим методом и численными методами нахождения оптимума.

Для успешного изучения дисциплины «Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

Наименование категории (группы) универсальных компетенций	Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональные	ПК-2. Способен осуществлять работы по совершенствованию технологического процесса – разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства, к исследованию причин брака в производстве и разработке предложений по его предупреждению и устранению	ПК -2.1. Разрабатывает мероприятия по совершенствованию технологического процесса и увеличению глубины переработки сырья
	ПК -4. Способен осуществлять разработку предложений по увеличению ассортимента и улучшению качества продукции, глубины переработки сырья, разработку новых рецептур, режимов технологического процесса	ПК -4.1. Разрабатывает предложения по совершенствованию технологического процесса, повышения качества продукции и разработке новых видов продукции

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)	
ПК -2.1. Разрабатывает мероприятия по совершенствованию технологического процесса и увеличению глубины переработки сырья	Знает	основные технологические схемы, современное оборудование и методы организации современных технологических процессов, методы измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции с помощью технических средств
	Умеет	анализировать технологический процесс как систему, оптимизировать технологии, оборудование, современных технологических процессы
	Владеет	способностью анализировать технологический процесс как систему, навыками поиска «слабых» мест технологической схемы с целью последующей оптимизации
ПК -4.1. Разрабатывает предложения по	Знает	технологические процессы, пути воздействия на технологические процессы, основные нормы ввода и эксплуатации оборудования

совершенствованию технологического процесса, повышения качества продукции и разработке новых видов продукции	Умеет	анализировать технологический процесс, выявлять недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию, применяет методы математического анализа и моделирования, строить регрессионные модели
	Владеет	способностью участвовать в мероприятиях по совершенствованию технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения, навыками проектировать отдельные узлы и целый технологические схемы с использованием автоматизированных прикладных систем

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем» применяются следующие методы активного/интерактивного обучения:

- компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (на лабораторных занятиях).

## **2. ТРУДОЁМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 7 зачетных единицы, 252 часов. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (6 час.), лабораторные занятия (66 час.), самостоятельная работа (180 час, в том числе 36 часов на подготовку к экзамену). Дисциплина реализуется в 3 семестре 2 курса.

## **3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

**Раздел I. Задачи кибернетики химико-технологических процессов. (6 час.)**

**Тема 1. Кибернетика как наука об управлении. (3 час.)**

Основные определения. Кибернетика как наука об управлении. Задачи кибернетики. Принципы кибернетической организации производства. Иерархичность управления производством. Содержание задач управления на уровнях иерархии управления.

**Тема 2. Постановка задачи оптимального управления. (3 час.)**

Необходимые условия для оптимизации. Состояния объекта управления. Постановка задачи оптимального управления. Место динамической и статической оптимизации в задачах оптимального управления. Критерии оптимальности, их математическая форма в задачах статической и динамической оптимизации. Экономическая эффективность химико-технологических процессов.

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

### Лабораторные занятия (66 час.)

**Лабораторная работа №1.** Аналитическое определение экстремума заданных функций одной и нескольких переменных. (4 час.)

**Лабораторная работа №2.** Определение методом классического анализа оптимальной температуры в реакторе идеального смешения и оптимального температурного профиля в трубчатом реакторе для равновесных экзотермических реакций, обеспечивающих максимальный выход целевого продукта. (4 час.) Форма интерактивного обучения: *компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (2 час.)*

**Лабораторная работа №3.** Определение методом классического анализа оптимального времени проведения химической реакции в реакторе идеального смешения. (4 час.) Форма интерактивного обучения: *компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (2 час.)*

**Лабораторная работа №4.** Оптимальное распределение потока сырья, поступающего на параллельно работающие реакторы идеального смешения, и оптимизация при последовательном соединении реакторов методом множителей Лагранжа. (4 час.) Форма интерактивного обучения: *компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (2 час.)*

**Лабораторная работа №5.** Определение экстремума заданной функции одной переменной методами: половинного деления, “золотого” сечения, с использованием чисел Фибоначчи на примере максимизации отбора дистиллята постоянного состава из простой ректификационной колонны. (4 час.) Форма интерактивного обучения: *компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (4 час.)*

**Лабораторная работа №6.** Определение экстремума заданной функции двух переменных методами: Гаусса, Зейделя, градиента, наискорейшего спуска на примере максимизации чёткости разделения в простой ректификационной колонне. (4 час.) Форма интерактивного обучения: *компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (2 час.)*

**Лабораторная работа №7.** Решение задачи оптимального планирования производства продукции методом динамического программирования. (2 час.) Форма интерактивного обучения: *компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (2 час.)*

**Лабораторная работа №8.** Решение задачи оптимального распределения сырья между параллельно работающими аппаратами методом динамического программирования. (2 час.) Форма интерактивного обучения: *компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (2 час.)*

**Лабораторная работа №9.** Методом динамического программирования определить оптимальное время пребывания реакционной массы в каждом из каскада реакторов идеального перемешивания. (2 час.) Форма интерактивного обучения: *компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (2 час.)*

**Лабораторная работа №10.** Решение задачи максимизации прибыли от производства продукции при заданных запасах сырья симплекс – методом при исходном базисе в начале координат. (4 час.) Форма интерактивного обучения: *компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (2 час.)*

**Лабораторная работа №11.** Решение задачи максимизации прибыли от производства продукции при заданных запасах сырья симплекс – методом с выбором исходного базиса. (4 час.) Форма интерактивного обучения: *компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (2 час.)*

**Лабораторная работа №12.** Определение оптимального температурного профиля в реакторе идеального вытеснения для параллельных реакций первого порядка методом классического вариационного исчисления при отсутствии ограничений на температуру процесса. (4 час.) Форма интерактивного обучения: *компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (2 час.)*

**Лабораторная работа №13.** Определение оптимального температурного профиля в реакторе идеального вытеснения для параллельных реакций первого порядка методом классического вариационного исчисления с ограничениями на температуру процесса. (6 час.) Форма интерактивного обучения: *компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (2 час.)*

**Лабораторная работа №14.** Определение оптимального температурного профиля в реакторах идеального вытеснения для последовательных реакций с использованием принципа максимума. (6 час.) Форма интерактивного обучения: *компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (2 час.)*

**Лабораторная работа №15.** Определение оптимального закона управления регулятора – как решение задачи на максимальное быстродействие с использованием принципа максимума. (6 час.) Форма

интерактивного обучения: компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (4 час.)

**Лабораторная работа №16.** Определение оптимального температурного профиля в реакторах идеального вытеснения для обратимых реакций с использованием динамического программирования в непрерывной форме (уравнения Беллмана). (6 час.) Форма интерактивного обучения: компьютерное моделирование и практическое обсуждение результатов (4 час.)

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

## 6. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				Текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	Раздел I. Задачи кибернетики химико-технологических процессов	ПК-2.1. Разрабатывает мероприятия по совершенствованию технологического процесса и увеличению глубины перерабо	Знает основные технологические схемы, современное оборудование и методы организации современных технологических процессов, методы измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции с помощью технических средств  умеет анализировать технологический процесс как систему, оптимизировать технологии, оборудование,	Защита отчетов по лабораторным работам (УО-1) Контрольная работа по модулю (ПР-2) Конспект лекции	Вопросы 1-5 экзамена Вопросы 1-9 зачета



		тки сырья	современных технологических процессы	нием отчетов (ПР-6)	
			владеет способностью анализировать технологический процесс как систему, навыками поиска «слабых» мест технологической схемы с целью последующей оптимизации	Выполнение 1-3 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6) Решение практических задач (ПР-11)	
		ПК-4.1. Разрабатывает предложения по совершенствованию технологического процесса, повышению качества продукции и разработке новых видов продукции	Знает технологические процессы, пути воздействия на технологические процессы, основные нормы ввода и эксплуатации оборудования	Защита отчетов по лабораторным работам (УО-1) Контрольная работа по модулю (ПР-2) Конспект лекции	
			умеет анализировать технологический процесс, выявлять недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию, применяет методы математического анализа и моделирования, строить регрессионные модели	Выполнение 1-3 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6)	
			владеет способностью участвовать в мероприятиях по совершенствованию технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения, навыками проектировать отдельные узлы и целые технологические схемы с использованием автоматизированных прикладных систем	Выполнение 1-3 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6) Решение практических задач (ПР-11)	
2	Раздел II. Постановка и решение задач статической оптимизации химико-технических процессов	ПК-2.1. Разрабатывает мероприятия по совершенствованию технологического процесса и увеличению	Знает основные технологические схемы, современное оборудование и методы организации современных технологических процессов, методы измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции с помощью технических средств	Защита отчетов по лабораторным работам (УО-1) Контрольная работа по модулю (ПР-2) Конспект самостоятельно изученного материала	Вопросы 6-21 экзамена Вопросы 10-41 зачета

		глубины переработки сырья	умеет анализировать технологический процесс как систему, оптимизировать технологии, оборудование, современных технологических процессы	Выполнение 4-10 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6)	
			владеет способностью анализировать технологический процесс как систему, навыками поиска «слабых» мест технологической схемы с целью последующей оптимизации	Выполнение 4-10 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6) Решение практических задач (ПР-11)	
		ПК-4.1. Разрабатывает предложения по совершенствованию технологического процесса, повышения качества продукции и разработке новых видов продукции	Знает технологические процессы, пути воздействия на технологические процессы, основные нормы ввода и эксплуатации оборудования	Защита отчетов по лабораторным работам (УО-1) Контрольная работа по модулю (ПР-2) Конспект самостоятельно изученного материала	
			умеет анализировать технологический процесс, выявлять недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию, применяет методы математического анализа и моделирования, строить регрессионные модели	Выполнение 4-10 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6)	
			владеет способностью участвовать в мероприятиях по совершенствованию технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения, навыками проектировать отдельные узлы и целые технологические схемы с использованием автоматизированных прикладных систем	Выполнение 4-10 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6) Решение практических задач (ПР-11)	
3	Раздел III Постановка и решение задач динамической оптимизации	ПК-2.1. Разрабатывает мероприятия по совершенствованию	Знает основные технологические схемы, современное оборудование и методы организации современных технологических процессов, методы измерения основных параметров технологического	Защита отчетов по лабораторным работам (УО-1) Контрольная работа по	Вопросы 22-38 экзамена Вопросы 42-58 зачета

химико-технических процессов	ию технологического процесса и увеличению глубины переработки сырья	процесса, свойств сырья и продукции с помощью технических средств	модулю (ПР-2) Конспект самостоятельно изученного материала
		умеет анализировать технологический процесс как систему, оптимизировать технологии, оборудование, современных технологических процессы	Выполнение 11-16 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6)
		владеет способностью анализировать технологический процесс как систему, навыками поиска «слабых» мест технологической схемы с целью последующей оптимизации	Выполнение 11-16 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6) Решение практических задач (ПР-11)
	ПК-4.1. Разрабатывает предложения по совершенствованию технологического процесса, повышения качества продукции и разработке новых видов продукции	Знает технологические процессы, пути воздействия на технологические процессы, основные нормы ввода и эксплуатации оборудования	Защита отчетов по лабораторным работам (УО-1) Контрольная работа по модулю (ПР-2) Конспект самостоятельно изученного материала
		умеет анализировать технологический процесс, выявлять недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию, применяет методы математического анализа и моделирования, строить регрессионные модели	Выполнение 11-16 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6)
		владеет способностью участвовать в мероприятиях по совершенствованию технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения, навыками проектировать отдельные узлы и цели технологические схемы с использованием автоматизированных прикладных систем	Выполнение 11-16 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6) Решение практических задач (ПР-11)

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## **7. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Кривошеев В.П. Теория оптимального управления экономическими системами [Электронный ресурс]: учебное пособие. / Кривошеев В.П. – Электрон. текстовые данные. – Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2010.

<http://portfolio.vvsu.ru/schoolbook/details/idm /7951/tid/502/>

2. А.Г. Сухарев. Курс методов оптимизации [Электронный ресурс]: Учебное пособие. Изд.2-е. ./ Сухарев А.Г., Тихомиров А.В., Фёдоров В.В. М.– Электрон. текстовые данные. – Физматлит, 2011. – 367 с.

ЭБС «IPRbooks»:

<http://www.iprbookshop.ru/17283>

3. Алексеев В.М. Сборник задач по оптимизации. Теория. Примеры. Задачи [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Алексеев В.М., Галеев Э.М., Тихомиров В.М.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011.— 256 с.

ЭБС «IPRbooks»:

<http://www.iprbookshop.ru/24633>

4. Гумеров, А. М. Математическое моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие, 2-е изд. перераб. / А. М. Гумеров – Электрон. текстовые данные. – СПб.: Лань, 2014. – 176 с.

ЭБС Издательства "Лань":

<http://e.lanbook.com/view/book/41014/>

5. Пантелеев А.В. Методы оптимизации [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Пантелеев А.В., Летова Т.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Логос, 2011.— 424 с.

ЭБС «IPRbooks»:

<http://www.iprbookshop.ru/9093>

6. Клинов, А. В. Математическое моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. В. Клинов, А. Г.

Мухаметзянова – Электрон. текстовые данные. – Казань.: Казанский государственный технологический университет, 2009. – 144 с.

ЭБС "Университетская библиотека онлайн":

[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view&book\\_id=270540](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view&book_id=270540)

7. Чикуров, Н. Г. Моделирование систем и процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н. Г. Чикуров. – Электрон. текстовые данные. – М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. – 398 с.

ЭБС " ЭБС ZNANIUM.COM":

<http://znanium.com/bookread.php?book=392652>

### Дополнительная литература (печатные и электронные издания)

1. Кривошеев В.П. Теория оптимального управления экономическими системами [Электронный ресурс]: практикум. / Кривошеев В.П. – Электрон. текстовые данные. – Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2005.

<http://portfolio.vvsu.ru/schoolbook/details/idm/1756/tid/502/>

2. Розова В.Н. Методы оптимизации [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Розова В.Н., Максимова И.С.— Электрон. текстовые данные.— М.: Российский университет дружбы народов, 2010.— 112 с.

ЭБС «IPRbooks»:

<http://www.iprbookshop.ru/11536>

3. Методы оптимизации и теории управления [Электронный ресурс]: методические указания к самостоятельной работе по дисциплинам «Методы оптимизации», «Математические методы теории управления»/ — Электрон. текстовые данные.— Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013.— 18 с.

ЭБС «IPRbooks»:

<http://www.iprbookshop.ru/22891>

4. Ашихмин, В. Н. Введение в математическое моделирование [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. Н. Ашихмин, М. Б. Гитман, И. Э. Келлер – Электрон. текстовые данные. – М.: Логос, 2004. – 439 с.

ЭБС «IPRbooks»:

<http://www.iprbookshop.ru/9063>

5. Аверченков, В. И. Основы математического моделирования технических систем [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. И. Аверченков, В. П. Федоров, М. Л. Хейфец — Электрон. текстовые данные. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2012. – 271 с.

ЭБС «IPRbooks»:

<http://www.iprbookshop.ru/7003>

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Специальные курсы. Математическое моделирование – третий путь познания [Электронный ресурс] / Разработчик : Кафедра математики Физического Факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. – Режим доступа : [http://matematika.phys.msu.ru/stud\\_spec/270](http://matematika.phys.msu.ru/stud_spec/270), свободный. – Загл. с экрана.

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

1. Программное обеспечение для решения задач линейного программирования с помощью графического и симплекс методов (LinProg), Роспатент. Свидетельство о государственной регистрации № 2010615119 от 09.08.2010.

2. Программное обеспечение для решения задач линейного программирования с помощью симплекс метода (LinProg2), Роспатент. Свидетельство о государственной регистрации № 2010615105 от 09.08.2010.

3. Учебный комплекс по методам оптимизации функций: Методы многомерного поиска

## **8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

В рамках данной дисциплины предусмотрено 180 часов самостоятельной работы, которая необходима при проработке материала лекции; подготовке к лабораторным работам, экзамену.

В самостоятельную работу по дисциплине «Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем» включены следующие виды деятельности:

- разработка курсового проекта
- поиск информации по темам для самостоятельного изучения;
- разбор теоретических аспектов практических работ, написание отчётов по лабораторным и практическим работам, подготовка к защите отчетов;
- работа со стандартами ГОСТ;
- подготовка к промежуточному и итоговому контролю.

Студенту следует тщательно планировать и организовывать время, необходимое для изучения дисциплины. Недопустимо откладывать ознакомление с теоретической частью, подготовку отчетов к лабораторным работам и выполнение домашних заданий, поскольку это неминуемо приведет к снижению качества освоения материала, оформления отчетов и домашних заданий. Все виды работ по дисциплине рекомендуется выполнять по календарному плану, приведенному в приложении 1.

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для осуществления образовательного процесса по дисциплине «Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем» на лекциях используется мультимедийное оборудование: ноутбук, проектор, экран.

Лабораторный практикум по данной дисциплине проводится в компьютерной лаборатории L772.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

---

---

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
по дисциплине «Методы оптимизации и организации энерго- и  
ресурсосберегающих химико-технологических систем»  
Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология  
Магистерская программа «Процессы и аппараты химической технологии  
(совместно с ПАО РОСНЕФТЬ)»  
Форма подготовки очная**

**Владивосток  
2021**



## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1 неделя	Изучение лекционного материала, самостоятельная подготовка к контрольной работе по модулю. Тема: Кибернетика как наука об управлении	4 ч.	Проверка конспектов, оценка
2	2 неделя	Отчет по лабораторной работе № 1	4 ч.	Оценка
3	2 неделя	Изучение лекционного материала, самостоятельная подготовка к контрольной работе по модулю. Тема: Постановка задачи оптимального управления	4 ч.	Проверка конспектов, оценка
4	3 неделя	Отчет по лабораторной работе № 2	4 ч.	Оценка
5	3 неделя	Самостоятельное изучение материала, самостоятельная подготовка к контрольной работе по модулю. Тема: Постановка задачи статической оптимизации химико-технических процессов	4 ч.	Проверка конспектов, оценка
6	4 неделя	Отчет по лабораторной работе № 3	4 ч.	Оценка
7	4 неделя	Самостоятельное изучение материала, самостоятельная подготовка к контрольной работе по модулю. Тема: Аналитические методы решения задачи статической оптимизации химико-технических процессов	6 ч.	Проверка конспектов, оценка
8	5 неделя	Отчет по лабораторной работе № 4	4 ч.	Оценка
9	5 неделя	Самостоятельное изучение материала, самостоятельная подготовка к контрольной работе по модулю. Тема: Аналитические методы решения задачи статической оптимизации химико-технических процессов на условный экстремум	6 ч.	Проверка конспектов, оценка
10	6 неделя	Отчет по лабораторной работе № 5	4 ч.	Оценка
11	6 неделя	Самостоятельное изучение материала, самостоятельная подготовка к контрольной работе по модулю. Тема: Теория линейного программирования в задачах статической оптимизации	6 ч.	Проверка конспектов, оценка
12	7 неделя	Отчет по лабораторной работе № 6	4	Оценка
13	7 неделя	Самостоятельное изучение материала, самостоятельная подготовка к контрольной работе по модулю. Тема: Решение задачи статической оптимизации химико-технических процессов методами нелинейного программирования	6	Проверка конспектов, оценка
14	8 неделя	Отчет по лабораторной работе № 7	4	Оценка
15	8 неделя	Самостоятельное изучение материала, самостоятельная подготовка к контрольной работе по модулю. Тема: Численные методы решения задач статической оптимизации химико-технических процессов на условный экстремум	6	Проверка конспектов, оценка
16	9 неделя	Отчет по лабораторной работе № 8	4	Оценка

17	9 неделя	Самостоятельное изучение материала, самостоятельная подготовка к контрольной работе по модулю. Тема: Решение задачи статической оптимизации химико-технических процессов методами случайного поиска	6	Проверка конспектов, оценка
18	10 неделя	Отчет по лабораторной работе № 9	4	Оценка
19	10 неделя	Самостоятельное изучение материала, самостоятельная подготовка к контрольной работе по модулю. Тема: Декомпозиционные методы решения задач большой размерности	6	Проверка конспектов, оценка
20	11 неделя	Отчет по лабораторной работе № 10	4	Оценка
21	11 неделя	Самостоятельное изучение материала, самостоятельная подготовка к контрольной работе по модулю. Тема: Постановка задачи динамической оптимизации химико-технических процессов как задачи оптимального управления	6	Проверка конспектов, оценка
22	12 неделя	Отчет по лабораторной работе № 11	4	Оценка
23	12 неделя	Самостоятельное изучение материала, подготовка экзамену и к контрольной ч работе по модулю. Тема: Классическое вариационное исчисление для решения задач динамической оптимизации химико-технических процессов	8	Проверка конспектов, оценка
24	13 неделя	Отчет по лабораторной работе № 12	4 ч.	Оценка
25	13 неделя	Самостоятельное изучение материала, самостоятельная подготовка к контрольной работе по модулю. Тема: Применение принципа максимума для решения задачи оптимального управления химико-технических процессов	8 ч.	Проверка конспектов, оценка
26	14 неделя	Отчет по лабораторной работе № 13	3 ч.	Оценка
27	14 неделя	Самостоятельное изучение материала, самостоятельная подготовка к контрольной работе по модулю. Тема: Применение динамического программирования в непрерывной форме для решения задачи оптимального управления химико-технических процессов	8 ч.	Проверка конспектов, оценка
28	15 неделя	Отчет по лабораторной работе № 14	3 ч.	Оценка
29	16 неделя	Подготовка к экзамену. Повторение тем : Кибернетика как наука об управлении. Постановка задачи оптимального управления. Постановка задачи статической оптимизации химико-технических процессов. Аналитические методы решения задачи статической оптимизации химико-технических процессов. Аналитические методы решения задачи статической оптимизации химико-технических процессов на условный экстремум.	12 ч.	Оценка
30	16 неделя	Отчет по лабораторной работе № 15	3 ч.	Оценка
31	17 неделя	Подготовка к экзамену. Повторение тем : Теория линейного программирования в задачах статической оптимизации. Решение задачи статической оптимизации химико-	12 ч.	Оценка

		технических процессов методами нелинейного программирования. Численные методы решения задач статической оптимизации химико-технических процессов на условный экстремум. Решение задачи статической оптимизации химико-технических процессов методами случайного поиска. Декомпозиционные методы решения задач большой размерности.		
32	17 неделя	Отчет по лабораторной работе № 16	3 ч.	Оценка
33	18 неделя	Подготовка к экзамену. Повторение тем : Постановка задачи динамической оптимизации химико-технических процессов как задачи оптимального управления. Классическое вариационное исчисление для решения задач динамической оптимизации химико-технических процессов. Применение принципа максимума для решения задачи оптимального управления химико-технических процессов. Применение динамического программирования в непрерывной форме для решения задачи оптимального управления химико-технических процессов.	12 ч.	Оценка

### **Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению**

Самостоятельная работа необходима при проработке материала для самостоятельного обучения; подготовке к лабораторным работам, экзамену.

В самостоятельную работу по дисциплине «Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем» включены следующие виды деятельности:

поиск информации по темам для самостоятельного изучения согласно опорному плану;

подготовка к промежуточному и итоговому контролю.

Для закрепления навыков и знаний студента, полученных на практических занятиях, студента в течение курса выдается 16 лабораторных заданий. Лабораторные работы закрепляют навыки текущей темы практических занятий. Для выполнения итогового домашнего задания необходимо использовать все полученные знания и умения, а также знания, полученные в курсе «Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем».

Студенту следует тщательно планировать и организовывать время, необходимое для изучения дисциплины. Недопустимо откладывать ознакомление с теоретической частью, подготовку отчетов к лабораторным

работам и выполнению домашних заданий, поскольку это неминуемо приведет к снижению качества освоения материала, оформления отчетов и домашних заданий. Все виды работ по дисциплине рекомендуется выполнять по календарному плану, приведенному в Плане-графике выполнения самостоятельной работы по дисциплине.

### **Опорный план для самостоятельного изучения**

Время самостоятельной работы студента при изучении дисциплины «Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем» согласно план-графику распределяется следующим образом: изучение материала к лабораторным работам и написание отчета – 60 ч., изучение лекционного материала – 12 ч., самостоятельное изучение материала с последующим контролем полученных знаний преподавателем – 72 ч., подготовка к экзамену – 36 ч. Опорный план для самостоятельного обучения, представленный далее, является продолжением лекционного материала и начинается с раздела II.

#### **Раздел II. Постановка и решение задач статической оптимизации химико-технических процессов (42 час.).**

##### **Тема 1. Постановка задачи статической оптимизации химико-технических процессов. (6 час.)**

**Цель** – рассмотреть математическую форму и содержание постановки задачи статической оптимизации химико-технологического процесса

Математическая форма постановки задачи статической оптимизации. Понятие числа степеней свободы. Необходимые условия корректной постановки задач статической оптимизации. Виды целевых функций. Формирование области допустимых управлений. Постановка задачи статической оптимизации химико-технологических процессов на примере простой ректификационной колонны.

##### **Список литературы**

1. Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии. Изд. 2-е. / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров – М., «Химия», 1975 – 576 с.
2. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. : 3-е изд., пер. и доп.: Серия `Химическая кибернетика / В.В. Кафаров - М.: Химия 1976г. - 476 с.
3. Кривошеев В.П. Теория оптимального управления экономическими

системами. Учебное пособие. / Кривошеев В.П. –Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2010.

## **Тема 2. Аналитические методы решения задачи статической оптимизации химико-технических процессов. (6 час.)**

**Цель** – изучить необходимые и достаточные условия экстремума целевой функции

Понятие глобального и локальных экстремумов целевых функций. Седловые точки. Необходимое и достаточное условие экстремума функции одной переменной. Пример. Понятие квадратичной формы. Необходимое и достаточное условие экстремума функции нескольких переменных. Пример.

### **Список литературы**

1. Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии. Изд. 2-е. / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров – М., «Химия», 1975 – 576 с.
2. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. : 3-е изд., пер. и доп.: Серия `Химическая кибернетика / В.В. Кафаров - М.: Химия 1976г. - 476 с.
3. Кривошеев В.П. Теория оптимального управления экономическими системами. Учебное пособие. / Кривошеев В.П. –Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2010.

## **Тема 3. Аналитические методы решения задачи статической оптимизации химико-технических процессов на условный экстремум. (6 час.)**

**Цель** – изучить методы решения задачи статической оптимизации при условиях типа «равенство» и типа «неравенство»

Решение статической оптимизации при условии типа равенства выражением зависимых переменных через независимые переменные. Пример. Решение статической оптимизации при условии типа равенства методом множества Лагранжа. Пример. Решение статической оптимизации при условии типа неравенства с использованием условий Куна-Таккера. Пример.

### **Список литературы**

1. Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии. Изд. 2-е. / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров – М., «Химия», 1975 – 576 с.
2. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. : 3-е изд., пер. и доп.: Серия `Химическая кибернетика / В.В. Кафаров - М.: Химия 1976г. - 476 с.

3. Кривошеев В.П. Теория оптимального управления экономическими системами. Учебное пособие. / Кривошеев В.П. –Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2010.

#### **Тема 4. Теория линейного программирования в задачах статической оптимизации. (6 час.)**

**Цель** – изучить особенности задач линейного программирования и симплекс-метод для решения этих задач

Области допустимых решений в задачах линейного программирования. Понятие базиса. Свойства базиса. Общий алгоритм решения задачи линейного программирования симплекс-методом. Выбор исходного базиса. Решения задачи симплекс-методом в форме таблиц. Признак окончания расчета.

##### **Список литературы**

1. Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии. Изд. 2-е. / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров – М., «Химия», 1975 – 576 с.
2. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. : 3-е изд., пер. и доп.: Серия `Химическая кибернетика / В.В. Кафаров - М.: Химия 1976г. - 476 с.
3. Кривошеев В.П. Теория оптимального управления экономическими системами. Учебное пособие. / Кривошеев В.П. – Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2010.

#### **Тема 5. Решение задачи статической оптимизации химико-технических процессов методами нелинейного программирования. (6 час.)**

**Цель** – рассмотреть решение одномерных и многомерных задач оптимизации методами нелинейного программирования

Одномерные методы решения задач нелинейного программирования: метод сканирования с постоянным и с переменным шагом, метод половинного деления, метода «золотого» сечения, метод с использованием чисел Фибоначчи. Примеры. Многомерные методы решения задач нелинейного программирования: метод сканирования, метод Гаусса-Зейделя, метод Градиента, метод наискорейшего спуска. Примеры.

##### **Список литературы**

1. Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии. Изд. 2-е. / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров – М., «Химия», 1975 – 576 с.
2. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. : 3-е изд., пер. и доп.: Серия `Химическая кибернетика / В.В. Кафаров - М.: Химия 1976г. - 476 с.

3. Кривошеев В.П. Теория оптимального управления экономическими системами. Учебное пособие. / Кривошеев В.П. –Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2010.

### **Тема 6. Численные методы решения задач статической оптимизации химико-технических процессов на условный экстремум. (6 час.)**

**Цель** – рассмотреть методы штрафных функций при численном решении задач статической оптимизации при условиях типа «равенство» и «неравенство»

Метод штрафных функций при численном решении задач статической оптимизации с условиями типа равенства. Метод штрафных функций при численном решении задач статической оптимизации с условиями типа неравенства. Овражный метод поиска экстремума функции.

#### **Список литературы**

1. Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии. Изд. 2-е. / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров – М., «Химия», 1975 – 576 с.
2. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. : 3-е изд., пер. и доп.: Серия `Химическая кибернетика / В.В. Кафаров - М.: Химия 1976г. - 476 с.
3. Кривошеев В.П. Теория оптимального управления экономическими системами. Учебное пособие. / Кривошеев В.П. –Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2010.

### **Тема 7. Решение задачи статической оптимизации химико-технических процессов методами случайного поиска. (6 час.)**

**Цель** – изучить метод слепого поиска и метод случайных направлений для решения задач статической оптимизации.

Постановка задачи поиска экстремума функции методом слепого поиска. Решение задачи статической оптимизации методом случайных направлений. Выбор случайного направления. Признак окончания поиска методом случайных направлений. Метод случайных направлений с обратным шагом и линейным пересчетом.

#### **Список литературы**

1. Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии. Изд. 2-е. / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров – М., «Химия», 1975 – 576 с.
2. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. : 3-е изд., пер. и доп.: Серия `Химическая кибернетика / В.В. Кафаров - М.: Химия 1976г. - 476 с.
3. Кривошеев В.П. Теория оптимального управления экономическими

системами. Учебное пособие. / Кривошеев В.П. –Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2010.

### **Тема 8. Декомпозиционные методы решения задач большой размерности. (6 час.)**

**Цель** – ознакомиться решением задач оптимизации химико-технологических систем методами явной и неявной декомпозиции, методом динамического программирования в дискретной форме

Сущность методов явной и неявной декомпозиции. Принцип оптимальности. Функциональные уравнения динамического программирования в дискретной форме. Задание условных состояний. Получение условно оптимальных траекторий перехода от одной стадии к другой. Выбор оптимальных управлений.

#### **Список литературы**

1. Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии. Изд. 2-е. / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров – М., «Химия», 1975 – 576 с.
2. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. : 3-е изд., пер. и доп.: Серия `Химическая кибернетика / В.В. Кафаров - М.: Химия 1976г. - 476 с.
3. Кривошеев В.П. Теория оптимального управления экономическими системами. Учебное пособие. / Кривошеев В.П. –Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2010.

### **Раздел III. Постановка и решение задач динамической оптимизации химико-технических процессов (30 час.).**

#### **Тема 1. Постановка задачи динамической оптимизации химико-технических процессов как задачи оптимального управления. (6 час.)**

**Цель** – рассмотреть математическую форму постановки задачи динамической оптимизации химико-технологических процессов

Математическая форма постановки задачи динамической оптимизации. Понятие функционала. Классы допустимых функций. Сущность методов решения задач динамической оптимизации химико-технологических процессов: классическое вариационное исчисление, принцип максимума, динамическое программирование в непрерывной форме (уравнение Беллмана).

#### **Список литературы**

1. Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии. Изд. 2-е. / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров – М., «Химия», 1975 – 576 с.
2. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии.



: 3-е изд., пер. и доп.: Серия `Химическая кибернетика / В.В. Кафаров - М.: Химия 1976г. - 476 с.

3. Кривошеев В.П. Теория оптимального управления экономическими системами. Учебное пособие. / Кривошеев В.П. –Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2010.

## **Тема 2. Классическое вариационное исчисление для решения задач динамической оптимизации химико-технических процессов. (8 час.)**

**Цель** – изучить основы классического вариационного исчисления и его применения для решения задачи оптимального управления

Требования к применению классического вариационного исчисления. Уравнение Эйлера для простейшего функционала. Уравнения Лежандра. Условие Лежандра. Необходимое условие экстремума функционала и условие Лежандра при наличии в подынтегральном выражении нескольких функций и их первых производных. Необходимое условие экстремума функционала и условие Лежандра при наличии в подынтегральном выражении одной функций и ее нескольких производных. Необходимое условие экстремума функционала и условие Лежандра при наличии в подынтегральном выражении нескольких функций и нескольких производных от каждой из функций (общий случай). Решение вариационной задачи при интегральных, голономных и неголономных связях. Решение задачи оптимального управления с использованием классического вариационного исчисления.

### **Список литературы**

1. Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии. Изд. 2-е. / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров – М., «Химия», 1975 – 576 с.
2. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. : 3-е изд., пер. и доп.: Серия `Химическая кибернетика / В.В. Кафаров - М.: Химия 1976г. - 476 с.
3. Кривошеев В.П. Теория оптимального управления экономическими системами. Учебное пособие. / Кривошеев В.П. –Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2010.

## **Тема 3. Применение принципа максимума для решения задачи оптимального управления химико-технических процессов. (8 час.)**

**Цель** – изучить основы принципа максимума и его применение для решения задачи оптимального управления

Функция Гамильтона. Система сопряженных уравнений. Формулировка принципа максимума. Алгоритм решения задачи с использованием принципа максимума в общем случае. Пример. Особенность решения задачи на максимальное быстродействие. Особенность решения задачи при различной полноте задания граничных условий. Численный метод решения задачи оптимизации с использованием принципа максимума. Пример. Связь принципа максимума с классическим вариационным исчислением.

#### **Список литературы**

1. Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии. Изд. 2-е. / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров – М., «Химия», 1975 – 576 с.
2. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. : 3-е изд., пер. и доп.: Серия `Химическая кибернетика / В.В. Кафаров - М.: Химия 1976г. - 476 с.
3. Кривошеев В.П. Теория оптимального управления экономическими системами. Учебное пособие. / Кривошеев В.П. –Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2010.

#### **Тема 4. Применение динамического программирования в непрерывной форме для решения задачи оптимального управления химико-технических процессов. (8 час.)**

**Цель** – изучить основы динамического программирования в динамической форме и его применение для решения задачи оптимального управления

Сущность принципа оптимальности для непрерывных процессов. Функциональные уравнения динамического программирования для непрерывного процесса. Уравнение Беллмана. Алгоритм решения задачи оптимального управления с использованием уравнения Беллмана. Связь уравнения Беллмана с классическим вариационным исчислением и принципом максимума.

#### **Список литературы**

1. Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии. Изд. 2-е. / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров – М., «Химия», 1975 – 576 с.
2. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. : 3-е изд., пер. и доп.: Серия `Химическая кибернетика / В.В. Кафаров - М.: Химия 1976г. - 476 с.
3. Кривошеев В.П. Теория оптимального управления экономическими системами. Учебное пособие. / Кривошеев В.П. –Владивосток: Издательство

## **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы по подготовке отчетов лабораторных работ**

Отчет по выполненной лабораторной работе должен содержать следующие части: цель работы, ход работы; таблицу с данными; формулы и расчет (при необходимости); вывод, содержащий результаты эксперимента и сравнительную характеристику полученных данных. При подготовке теоретической части необходимо изучение теоретического материала лекций по теме лабораторной работы.

### **Оформление отчета по лабораторной работе**

Отчет по лабораторной работе относится к категории *«письменная работа»*, оформляется *по правилам оформления письменных работ студентами ДВФУ*.

Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов работ:

- набор текста;
- структурирование работы;
- оформление заголовков всех видов (рубрик-подрубрик-пунктов-подпунктов, рисунков, таблиц, приложений);
- оформление перечислений (списков с нумерацией или маркировкой);
- оформление таблиц;
- оформление иллюстраций (графики, рисунки, фотографии, схемы, «скриншоты»);
- набор и оформление математических выражений (формул);
- оформление списков литературы (библиографических описаний) и ссылок на источники, цитирования.

### **Набор текста**

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

- печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);
- интервал межстрочный – полуторный;
- шрифт – Times New Roman;
- размер шрифта - 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);
- выравнивание текста – «по ширине»;

- поля страницы - левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;

- нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.).

- режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать, как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все *приложения* включаются в общую в сквозную нумерацию страниц работы.

#### Рекомендации по оформлению графического материала, полученного с экранов в виде «скриншотов»

Графические копии экрана («скриншоты»), отражающие графики, диаграммы моделей, схемы, экранные формы и т. п. должны отвечать требованиям визуальной наглядности представления иллюстративного материала, как по размерам графических объектов, так и разрешающей способности отображения текстов, цветовому оформлению и другим важным пользовательским параметрам.

Рекомендуется в среде программного приложения настроить «экран» на параметры масштабирования и размещения снимаемых для иллюстрации объектов. При этом необходимо убрать «лишние» окна, команды, выделения объектов и т. п.

В перенесенных в отчет «скриншотах» рекомендуется «срезать» ненужные области, путем редактирования «изображений», а при необходимости отмасштабировать их для заполнения страницы отчета «по ширине».

«Скриншоты» в отчете оформляются как рисунки, с заголовками, помещаемыми ниже области рисунков, а в тексте должны быть ссылки на указанные рисунки.

#### *Критерии оценки выполнения самостоятельной работы по подготовке отчетов к лабораторным работам*

*Зачтено* : работа выполнена, правильно оформлен отчет по лабораторной работе, законченные правильно выполненные расчеты, правильные ответы на теоретические вопросы по теме работы.

*Не зачтено* : работа выполнена, в отчете ошибки по оформлению, выполненные расчеты содержат ошибки, ответы на теоретические вопросы по теме работы отсутствуют или не полные.

### **Требования к самостоятельной работе по подготовке к устному опросу по лабораторных работе**

При подготовке к устному опросу по лабораторной работе студент должен самостоятельно найти ответы на ряд вопросов.

### **Вопросы для подготовки к устному опросу по лабораторной работе**

**Лабораторная работа №1. Аналитическое определение экстремума заданных функций одной и нескольких переменных.**

1. В чём отличие необходимого условия экстремума функции одной переменной от необходимого условия экстремума функции нескольких переменных.

2. Каков физический и геометрический смысл экстремума функции одной переменной.

3. Каков физический и геометрический смысл экстремума функции нескольких переменных.

4. Какой вид имеет функция одной переменной в точке, где при выполнении необходимых условий не выполняются достаточные условия экстремума.

5. Какой вид имеет функция нескольких переменных в точке, где при выполнении необходимых условий не выполняются достаточные условия экстремума.

**Лабораторная работа №2. Определение методом классического анализа оптимальной температуры в реакторе идеального смешения и оптимального температурного профиля в трубчатом реакторе для равновесных экзотермических реакций, обеспечивающих максимальный выход целевого продукта.**

1. При каком условии максимальная скорость химической реакции обеспечивает максимальный выход целевого продукта.

2. Каков физический смысл химического равновесия.

3. Для какого вида химических реакций оптимальная температура ниже

равновесной и для какого вида химических реакций оптимальная температура выше равновесной.

4. Как осуществляется переход от степени превращения к объёму химического реактора.

**Лабораторная работа №3. Определение методом классического анализа оптимального времени проведения химической реакции в реакторе идеального смешения.**

1. Каким образом в материальном балансе от объёмных расходов переходят ко времени химической реакции.

2. Почему в данной задаче не используется температура в реакторе.

3. Почему для последовательных химических реакций нет необходимости проверять выполнение достаточных условий экстремума времени химической реакции.

**Лабораторная работа №4. Оптимальное распределение потока сырья, поступающего на параллельно работающие реакторы идеального смешения, и оптимизация при последовательном соединении реакторов методом множителей Лагранжа.**

1. Почему возникает задача оптимального распределения сырья.

2. Что вызывает необходимость неравномерного распределения сырья между реакторами.

3. Почему в исходных данных отсутствует температура в реакционной зоне.

4. В чём сущность метода множителей Лагранжа и как формируется функция Лагранжа в задаче оптимизации распределения сырья и в задаче минимизации общего объёма реакционной зоны.

**Лабораторная работа №5. Определение экстремума заданной функции одной переменной методами: половинного деления, “золотого” сечения, с использованием чисел Фибоначчи на примере максимизации отбора дистиллята постоянного состава из простой ректификационной колонны.**

1. В каких случаях пользуются методами нелинейного программирования.

2. Может ли быть одномерной задача оптимизации при наличии нескольких переменных в выражении функции.

3. Что общего между методами половинного деления и золотого сечения в стратегии выбора новых границ поиска.

4. Для унимодальных или полимодальных функций применимы рассматриваемые методы поиска экстремума.

5. Можно ли определить число обращений к функции выбранным

методом для достижения экстремума с заданной точностью в заданных границах поиска без выполнения поиска.

**Лабораторная работа №6. Определение экстремума заданной функции двух переменных методами: Гаусса, Зейделя, градиента, наискорейшего спуска на примере максимизации чёткости разделения в простой ректификационной колонне.**

1. Что общего в стратегии поиска экстремума в методах градиента и наискорейшего спуска.

2. Что общего в стратегии поиска экстремума в методах Гаусса - Зейделя и наискорейшего спуска.

3. Можно ли использовать указанные методы для поиска экстремума полимодальных функций?

**Лабораторная работа №7. Решение задачи оптимального планирования производства продукции методом динамического программирования.**

1. В каких случаях применяется метод динамического программирования в дискретной форме.

2. В чём сущность принципа оптимальности Беллмана.

3. Каким образом реализуется принцип оптимальности через функциональные уравнения.

4. В каких случаях можно решать задачу как с конца, так и с начала рассматриваемого процесса.

**Лабораторная работа №8. Решение задачи оптимального распределения сырья между параллельно работающими аппаратами методом динамического программирования.**

1. В чём сущность состояний при параллельном соединении аппаратов.

2. Что является управлением в задаче распределения сырья

3. Какой смысл вкладывается в функциональное уравнение динамического программирования при параллельном соединении аппаратов.

4. Зависит ли структура функционального уравнения динамического программирования от начального выбора варьируемой нагрузки.

**Лабораторная работа №9. Методом динамического программирования определить оптимальное время пребывания реакционной массы в каждом из каскада реакторов идеального перемешивания.**

1. Что выбирается в качестве управлений в данной задаче.

2. Что общего в функциональных уравнениях динамического программирования при решении задачи для последовательно соединённых аппаратов и для параллельно соединённых аппаратов.

3. Что лежит в основе функционального ур-я динамического программирования безотносительно к структуре технолог. схемы.

**Лабораторная работа №10. Решение задачи максимизации прибыли от производства продукции при заданных запасах сырья симплекс – методом при исходном базисе в начале координат.**

1. Какой класс задач оптимизации решается симплекс-методом.
2. Каков вид области допустимых решений в задачах линейного программирования.
3. Какую форму имеет поверхность постоянного значения критерия оптимальности в задачах линейного программирования.
4. Каков признак оптимального базиса по симплекс-таблице.

**Лабораторная работа №11. Решение задачи максимизации прибыли от производства продукции при заданных запасах сырья симплекс – методом с выбором исходного базиса.**

1. В каких случаях нулевые значения всех искомым переменных не могут быть исходным базисом в задачах линейного программирования.
2. Какие методы выбора исходного базиса используются при условиях:  $\geq$ , совместно  $\geq$  и  $\leq$ .
3. В каких случаях задача с линейным критерием оптимальности и с линейными ограничениями не имеет решения.

**Лабораторная работа №12. Определение оптимального температурного профиля в реакторе идеального вытеснения для параллельных реакций первого порядка методом классического вариационного исчисления при отсутствии ограничений на температуру процесса.**

1. Для какого класса функций применимо вариационное исчисление.
2. К какому виду вариационных задач относится данная задача.
3. С какой целью проверяется выполнение условий Лежандра.

**Лабораторная работа №13. Определение оптимального температурного профиля в реакторе идеального вытеснения для параллельных реакций первого порядка методом классического вариационного исчисления с ограничениями на температуру процесса.**

1. Какова особенность вариационной задачи при ограничениях по температуре в реакционной зоне.
2. Почему общий функционал представляется в виде трёх составляющих.
3. Какова последовательность действий при расчёте времени пребывания реагентов в реакторе идеального вытеснения с оптимальным температурным профилем.



**Лабораторная работа №14. Определение оптимального температурного профиля в реакторах идеального вытеснения для последовательных реакций с использованием принципа максимума.**

1. Как устанавливается наличие экстремума функции Гамильтона при противоположных по знаку соотношений энергий активации.

2. Как устанавливается наличие экстремума функции Гамильтона при задании общего времени пребывания продукта в зоне реакции.

3. Какова последовательность расчёта для определения оптимального температурного профиля.

**Лабораторная работа №15. Определение оптимального закона управления регулятора – как решение задачи на максимальное быстродействие с использованием принципа максимума.**

1. В чём особенность задачи на максимальное быстродействие.

2. Почему в системах второго порядка оптимальное управление только один раз меняет свой знак.

3. Как перейти от математической модели движения во временной области к математической модели в переменных состояниях.

4. Какое условие является признаком прихода процесса в статическое состояние.

**Лабораторная работа №16. Определение оптимального температурного профиля в реакторах идеального вытеснения для обратимых реакций с использованием динамического программирования в непрерывной форме (уравнения Беллмана).**

1. К какому виду дифференциальных уравнений относится уравнение Беллмана.

2. Какие граничные условия нужно иметь для решения уравнения Беллмана.

3. В чём трудности решения уравнения Беллмана.

*Критерии оценки устного опроса при сдаче отчетов лабораторных работ*

*Зачтено:* работа выполнена, правильно и грамотно оформлен отчет по лабораторной работе, законченные правильно выполненные расчеты, правильные ответы на теоретические вопросы по теме работы, владение терминологией.

*Не зачтено:* работа выполнена, в отчете ошибки по оформлению, выполненные расчеты содержат ошибки, ответы на теоретические вопросы по теме работы отсутствуют или не полные.

Оценка	Описание схемы оценивания
9-10	Демонстрирует полное понимание проблемы. Все требования, предъявляемые к заданию выполнены.
7-8	Демонстрирует значительное понимание проблемы. Все требования, предъявляемые к заданию выполнены.
4-6	Демонстрирует частичное понимание проблемы. Большинство требований, предъявляемых к заданию выполнены.
0-3	Демонстрирует непонимание проблемы. Нет ответа. Не было попытки решить задачу.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

---

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
по дисциплине **«Методы оптимизации и организации энерго- и  
ресурсосберегающих химико-технологических систем»**  
**Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология**  
Магистерская программа **«Процессы и аппараты химической технологии  
(совместно с ПАО РОСНЕФТЬ)»**  
**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2021**

## Паспорт ФОС

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)	
ПК -2.1. Разрабатывает мероприятия по совершенствованию технологического процесса и увеличению глубины переработки сырья	Знает	основные технологические схемы, современное оборудование и методы организации современных технологических процессов, методы измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции с помощью технических средств
	Умеет	анализировать технологический процесс как систему, оптимизировать технологии, оборудование, современных технологических процессы
	Владеет	способностью анализировать технологический процесс как систему, навыками поиска «слабых» мест технологической схемы с целью последующей оптимизации
ПК -4.1. Разрабатывает предложения по совершенствованию технологического процесса, повышения качества продукции и разработке новых видов продукции	Знает	технологические процессы, пути воздействия на технологические процессы, основные нормы ввода и эксплуатации оборудования
	Умеет	анализировать технологический процесс, выявлять недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию, применяет методы математического анализа и моделирования, строить регрессионные модели
	Владеет	способностью участвовать в мероприятиях по совершенствованию технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения, навыками проектировать отдельные узлы и целые технологические схемы с использованием автоматизированных прикладных систем

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				Текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	Раздел I. Задачи кибернетики химико-технологических процессов	ПК-2.1. Разрабатывает мероприятия по совершенствованию технологического процесса и увеличению глубины переработки сырья	Знает основные технологические схемы, современное оборудование и методы организации современных технологических процессов, методы измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции с помощью технических средств	Защита отчетов по лабораторным работам (УО-1) Контрольная работа по модулю (ПР-2) Конспект лекции	Вопросы 1-5 экзамена Вопросы 1-9 зачета
умеет анализировать технологический процесс как систему, оптимизировать технологии, оборудование, современных технологических процессы			Выполнение 1-3 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6)		
владеет способностью анализировать технологический процесс как систему, навыками			Выполнение 1-3 лабораторных		

			поиска «слабых» мест технологической схемы с целью последующей оптимизации	ых работ с предоставлением отчетов (ПР-6) Решение практических задач (ПР-11)	
		ПК-4.1. Разрабатывает предложения по совершенствованию технологического процесса, повышения качества продукции и разработке новых видов продукции	Знает технологические процессы, пути воздействия на технологические процессы, основные нормы ввода и эксплуатации оборудования	Защита отчетов по лабораторным работам (УО-1) Контрольная работа по модулю (ПР-2) Конспект лекции	
			умеет анализировать технологический процесс, выявлять недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию, применяет методы математического анализа и моделирования, строить регрессионные модели	Выполнение 1-3 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6)	
			владеет способностью участвовать в мероприятиях по совершенствованию технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения, навыками проектировать отдельные узлы и целые технологические схемы с использованием автоматизированных прикладных систем	Выполнение 1-3 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6) Решение практических задач (ПР-11)	
2	Раздел II. Постановка и решение задач статической оптимизации химико-технических процессов	ПК-2.1. Разрабатывает мероприятия по совершенствованию технологического процесса и увеличению глубины переработки сырья	Знает основные технологические схемы, современное оборудование и методы организации современных технологических процессов, методы измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции с помощью технических средств	Защита отчетов по лабораторным работам (УО-1) Контрольная работа по модулю (ПР-2) Конспект самостоятельно изученного материала	Вопросы 6-21 экзамена Вопросы 10-41 зачета
			умеет анализировать технологический процесс как систему, оптимизировать технологии, оборудование, современных технологических процессы	Выполнение 4-10 лабораторных работ с предоставлением	

				отчетов (ПР-6)	
			владеет способностью анализировать технологический процесс как систему, навыками поиска «слабых» мест технологической схемы с целью последующей оптимизации	Выполнение 4-10 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6) Решение практических задач (ПР-11)	
		ПК-4.1. Разрабатывает предложения по совершенствованию технологического процесса, повышения качества продукции и разработке новых видов продукции	Знает технологические процессы, пути воздействия на технологические процессы, основные нормы ввода и эксплуатации оборудования	Защита отчетов по лабораторным работам (УО-1) Контрольная работа по модулю (ПР-2) Конспект самостоятельно изученного материала	
			умеет анализировать технологический процесс, выявлять недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию, применяет методы математического анализа и моделирования, строить регрессионные модели	Выполнение 4-10 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6)	
			владеет способностью участвовать в мероприятиях по совершенствованию технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения, навыками проектировать отдельные узлы и целые технологические схемы с использованием автоматизированных прикладных систем	Выполнение 4-10 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6) Решение практических задач (ПР-11)	
3	Раздел III Постановка и решение задач динамической оптимизации химико-технических процессов	ПК-2.1. Разрабатывает мероприятия по совершенствованию технологического процесса и	Знает основные технологические схемы, современное оборудование и методы организации современных технологических процессов, методы измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции с помощью технических средств	Защита отчетов по лабораторным работам (УО-1) Контрольная работа по модулю (ПР-2) Конспект самостоятельно	Вопросы 22-38 экзамена Вопросы 42-58 зачета

		увеличению глубины переработки сырья		изученного материала	
			умеет анализировать технологический процесс как систему, оптимизировать технологии, оборудование, современных технологических процессы	Выполнение 11-16 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6)	
			владеет способностью анализировать технологический процесс как систему, навыками поиска «слабых» мест технологической схемы с целью последующей оптимизации	Выполнение 11-16 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6) Решение практических задач (ПР-11)	
		ПК-4.1. Разрабатывает предложения по совершенствованию технологического процесса, повышения качества продукции и разработке новых видов продукции	Знает технологические процессы, пути воздействия на технологические процессы, основные нормы ввода и эксплуатации оборудования	Защита отчетов по лабораторным работам (УО-1) Контрольная работа по модулю (ПР-2) Конспект самостоятельно изученного материала	
			умеет анализировать технологический процесс, выявлять недостатки и разрабатывать мероприятия по совершенствованию, применяет методы математического анализа и моделирования, строить регрессионные модели	Выполнение 11-16 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6)	
			владеет способностью участвовать в мероприятиях по совершенствованию технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения, навыками проектировать отдельные узлы и целые технологические схемы с использованием автоматизированных прикладных систем	Выполнение 11-16 лабораторных работ с предоставлением отчетов (ПР-6) Решение практических задач (ПР-11)	

## Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели	баллы
ПК-2.1. Разрабатывает мероприятия по совершенствованию технологического процесса и увеличению глубины переработки сырья	знает (пороговый уровень)	основные технологические схемы, современное оборудование и методы организации современных технологических процессов, методы измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции с помощью технических средств	знает основные виды технологических процессов, а также современное оборудование, применяемое в данных процессах	способен привести классификацию технологических процессов, классификацию методов измерения технологических параметров, определить необходимое оборудование для проведения процесса	61-75
	умеет (продвинутый)	анализировать технологический процесс как систему, оптимизировать технологии, оборудование, современных технологических процессы	умеет рассматривать технологический процесс как систему элементов, выявлять недостатки и предлагать варианты его совершенствования	способен применять методы декомпозиции к технологическому процессу для разбиения его на отдельные элементы, устанавливать взаимосвязь элементов, находить «узкие места» технологической схемы, производить изменение технологической схемы эвристическими и эволюционными методами	76-85
	владеет (высокий)	способностью анализировать технологический процесс как систему, навыками поиска «слабых» мест технологической схемы с целью последующей оптимизации	владеет навыками работы с технологической схемой как объектом управления для последующей оптимизации технологического процесса	способен разбить технологическую схему на объекты управления, изучить отклик каждого объекта на возмущающий сигнал, рассчитать ПИД-регулятор для каждого объекта управления, синтезировать общую систему управления всем технологическим процессом, произвести параметрический синтез системы управления	86-100
ПК-4.1. Разрабатывает предложения по совершенствованию технологического процесса, повышения качества	знает (пороговый уровень)	технологические процессы, пути воздействия на технологические процессы, основные нормы ввода и эксплуатации оборудования	знает основные технологические процессы, типовые возмущающие и управляющие воздействия на процесс	способен привести классификацию технологических процессов, классификацию (вертикальную и горизонтальную) объекта управления, понятие локальной системы автоматического управления, классификацию локальных САУ, понятие автоматизированной системы управления, классификацию АСУ	61-75



продукции и разработке новых видов продукции	умеет (продвинутый)	анализировать технологический процесс, выявлять недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию, применяет методы математического анализа и моделирования, строить регрессионные модели	умеет рассматривать технологический процесс как систему элементов, выявлять недостатки и предлагать варианты его совершенствования	способен применять методы декомпозиции к технологическому процессу для разбиения его на отдельные элементы, устанавливать взаимосвязь элементов, находить «узкие места» технологической схемы, производить изменение технологической схемы эвристическими и эволюционными методами	76-85
	владеет (высокий)	способностью участвовать в мероприятиях по совершенствованию технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения, навыками проектировать отдельные узлы и целый технологические схемы с использованием	владеет навыками работы в коллективе для изменения технологического процесса с целью повышения энерго- и ресурсосбережения, минимизации воздействия на окружающую среду	способен проектировать химико-технологическую систему в составе группы, а именно: -синтез химико-технологической системы, -анализ структуры химико-технологической системы, -расчет химико-технологической системы, -оптимизация химико-технологической системы	86-100

### Образец заданий для проверки сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Вопросы	
ПК-2.1. Разрабатывает мероприятия по совершенствованию технологического процесса и увеличению глубины переработки сырья	Полный набор компонента оптимизационной задачи включает: 1) целевую функцию; 2) критерий оптимальности, множество допустимых управлений; 3) целевую функцию, связи, ограничения; 4) целевую функцию, множество допустимых управлений.	2
	Критерий оптимальности в задачах динамической оптимизации имеет форму: 1) функции времени; 2) нелинейной функции; 3) интеграла от скорости изменения критерия оптимальности; 4) функции произвольных переменных.	3
	Оптимальное управление в задачах динамической оптимизации имеет форму: 1) вещественного числа; 2) функции времени; 3) комплексного числа; 4) функции параметров системы.	2

	<p>Задача статической оптимизации формулируется как задача определения таких управляющих воздействий, при которых:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) критерий оптимальности принимает наилучшее значение;</li> <li>2) выполняются все ограничения, формирующие область допустимых управлений;</li> <li>3) критерий оптимальности принимает наилучшее значение в пределах ограничений, наложенных на управляющие воздействия;</li> <li>4) критерий оптимальности принимает наилучшее значение в области допустимых управлений.</li> </ol>	4
	<p>Задача динамической оптимизации формулируется как задача определения таких управляющих воздействий, при которых:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) критерий оптимальности принимает наилучшее значение в области допустимых управлений;</li> <li>2) система переходит из одного статического состояния в другое и при этом критерий оптимальности принимает наилучшее значение в области допустимых управлений;</li> <li>3) система переходит из одного динамического состояния в другое и при этом критерий оптимальности принимает наилучшее значение в области допустимых управлений;</li> <li>4) система переходит во времени из одного состояния в другое и при этом критерий оптимальности принимает наилучшее значение в области допустимых управлений.</li> </ol>	4
ПК-4.1. Разрабатывает предложения по совершенствованию технологического процесса, повышения качества продукции и разработке новых видов продукции	<p>Множества допустимых решений <math>\Omega</math> оптимизационной задачи есть:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) область задания критерия оптимальности;</li> <li>2) множество точек <math>U</math>, удовлетворяющих уравнениям связи;</li> <li>3) множество точек <math>U</math>, удовлетворяющих автономным ограничениям;</li> <li>4) множество точек <math>U</math>, удовлетворяющих условиям оптимизационной задачи.</li> </ol>	4
	<p>Наиболее существенны для оптимизационных задач следующие свойства множества допустимых решений <math>\Omega</math>:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) выпуклость;</li> <li>2) выпуклость и замкнутость;</li> <li>3) ограниченность, выпуклость и замкнутость;</li> <li>4) открытость и ограниченность.</li> </ol>	1
	<p>Задача на условный экстремум отличается от безусловной оптимизационной задачи:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) наличием связей на управления;</li> <li>2) открытостью множества допустимых решений <math>\Omega</math>;</li> <li>3) замкнутостью множества допустимых решений <math>\Omega</math>;</li> <li>4) ограниченностью множества допустимых решений <math>\Omega</math>.</li> </ol>	1
	<p>В оптимизационной задаче для связей и ограничений характерно то, что:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) связи учитывают физические закономерности, а ограничения - дополнительные требования;</li> <li>2) связи есть уравнения, а ограничения – неравенства;</li> <li>3) связи зависят только от управлений, а ограничения - от свободных и зависимых переменных;</li> <li>4) связи и ограничения не имеют различий.</li> </ol>	2
	<p>Один из методов решения задач оптимального управления называется принципом максимума, потому что:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) получают решение в максимально широком классе функций;</li> <li>2) основным необходимым условием экстремума критерия оптимальности является достижение функцией Гамильтона максимального значения;</li> <li>3) требует задания максимального количества граничных условий для переменных состояния;</li> <li>4) всегда максимизируется критерий оптимальности.</li> </ol>	2

# **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

## **Промежуточная аттестация студентов**

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

По дисциплине «Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем» предусмотрен зачет (2 семестр). Зачет ставится по результатам защиты курсового проекта.

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации Вопросы к экзамену**

1. Алгоритм решения задачи линейного программирования симплекс-методом. Переход от одного базиса к другому. Признак окончания поиска оптимального базиса.
2. Алгоритм решения задачи оптимального управления методом классического вариационного исчисления.
3. В чём сущность перехода из одного базиса в соседний базис по замене переменных при использовании симплекс-метода.
4. Виды критериев оптимальности. Какими численными методами можно найти глобальный экстремум функции?
5. Динамическое программирование в непрерывной форме. Уравнение Беллмана.
6. Задачи кибернетики химико-технологических процессов.
7. Записать функциональные уравнения для оптимизации распределения сырья между тремя параллельно работающими аппаратами.
8. Иерархическая структура управления нефтехимическим предприятием.
9. Какие методы одномерного поиска можно применять для поиска экстремума полимодальной функции?
10. Линии уровня в плоскости управляющих воздействий. Вид линий уровня в задачах нелинейного программирования и в задачах линейного программирования.
11. Метод множителей Лагранжа. Область его применения. Пример определения оптимального объёма реакторов в каскаде при заданной степени конверсии исходного продукта.

12. Метод сканирования в задачах одномерного и в задачах многомерного поиска

13. Метод штрафных функций при условиях типа неравенства.

14. Метод штрафных функций при условиях типа равенства.

15. Методы динамической оптимизации. Общий алгоритм решения задачи с использованием принципа максимума.

16. Необходимое и достаточное условия экстремума функции нескольких переменных. Понятие о квадратичной форме.

17. Необходимое и достаточное условия экстремума функции одной переменной. Пример определения оптимальной температуры в реакционной зоне реактора смешения, обеспечивающей минимальный объём реакционной зоны при заданной степени конверсии исходного продукта.

18. Общий алгоритм решения задачи методом динамического программирования в дискретной форме.

19. Особенности задач линейного программирования. Понятия о свободных и базисных переменных.

20. Особенность решения задач на максимальное быстродействие с использованием принципа максимума. Пример решения задачи на максимальное быстродействие.

21. Показать связь методов динамической оптимизации: классического вариационного исчисления, принципа максимума и уравнения Беллмана.

22. Понятие функции и понятие функционала. Связать переменные время, путь и скорость в виде производной и в виде функционала.

23. Привести формулировку принципа максимума. Как решается задача максимизации функционала с использованием принципа максимума.

24. Причины появления овражных функций. Сущность метода поиска экстремума овражных функций.

25. Решение вариационной задачи при наличии голономной связи.

26. Решение вариационной задачи при наличии голономных связей.

Пример.

27. Решение вариационной задачи при наличии интегральной связи.

28. Решение вариационной задачи при наличии неголономных связей.

29. Решение задачи с использованием принципа максимума численными методами.

30. Связь необходимых условий экстремума функционала в принципе максимума и в классическом вариационном исчислении.

31. Слепой поиск экстремума функции. Область его применения.

32. Содержание функционального уравнения динамического программирования.

33. Статическое и динамическое состояния объекта управления. Постановка задач статической и динамической оптимизации.

34. Сущность метода случайных направлений. Область применения.

35. Требования для применения динамического программирования.

36. Требования к применению классического вариационного исчисления. Уравнение Эйлера для простейшего функционала. Пример решения вариационной задачи с простейшим функционалом. Пример решения вариационной задачи с голономными связями.

37. Условия Куна –Таккера. Область применения. Пример решения задачи с применением условий Куна-Таккера. В каком случае решения задачи методом множителей Лагранжа и с применением условий Куна-Таккера совпадают?

38. Экономическая оценка эффективности процессов. Какие критерии оптимальности используются при оптимизации отдельного процесса в аппарате, производства продукта в отдельном цехе, выпуска и реализации продукции предприятием.

### **Пример экзаменационного билета:**

---

#### **Билет №1**

##### Задание 1

Алгоритм решения задачи оптимального управления методом классического вариационного исчисления.

##### Задание 2

Общий алгоритм решения задачи методом динамического программирования в дискретной форме.

##### Задание 3

Условия Куна –Таккера. Область применения. Пример решения задачи с применением условий Куна-Таккера. В каком случае решения задачи методом множителей Лагранжа и с применением условий Куна-Таккера совпадают?

---

#### **Критерии оценки к экзамену**

##### **Отметка "Отлично"**

1. Дан полный и правильный ответ на основе самостоятельно изученного материала и проведенных ранее лабораторных и практических работ.

2. Материал понят и изучен.

3. Материал изложен в определенной логической последовательности, литературным языком.

4. Ответ самостоятельный.

#### **Отметка "Хорошо"**

1, 2, 3, 4 – аналогично отметке "Отлично".

5. Допущены 2-3 несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя, наблюдалась "шероховатость" в изложении материала.

#### **Отметка "Удовлетворительно"**

1. Учебный материал, в основном, изложен полно, но при этом допущены 1-2 существенные ошибки.

2. Ответ неполный, хотя и соответствует требуемой глубине, построен несвязно.

#### **Отметка "Неудовлетворительно"**

1. Незнание или непонимание большей или наиболее существенной части учебного материала.

2. Допущены существенные ошибки, которые не исправляются после уточняющих вопросов, материал изложен несвязно.

#### **Вопросы к зачету**

1. В чём отличие необходимого условия экстремума функции одной переменной от необходимого условия экстремума функции нескольких переменных.

2. Каков физический и геометрический смысл экстремума функции одной переменной.

3. Каков физический и геометрический смысл экстремума функции нескольких переменных.

4. Какой вид имеет функция одной переменной в точке, где при выполнении необходимых условий не выполняются достаточные условия экстремума.

5. Какой вид имеет функция нескольких переменных в точке, где при выполнении необходимых условий не выполняются достаточные условия экстремума.

6. При каком условии максимальная скорость химической реакции обеспечивает максимальный выход целевого продукта.

7. Каков физический смысл химического равновесия.

8. Для какого вида химических реакций оптимальная температура ниже равновесной и для какого вида химических реакций оптимальная температура выше равновесной.

9. Как осуществляется переход от степени превращения к объёму химического реактора.

10. Каким образом в материальном балансе от объёмных расходов переходят ко времени химической реакции.

11. Почему в данной задаче не используется температура в реакторе.

12. Почему для последовательных химических реакций нет необходимости проверять выполнение достаточных условий экстремума времени химической реакции.

13. Почему возникает задача оптимального распределения сырья.

14. Что вызывает необходимость неравномерного распределения сырья между реакторами.

15. Почему в исходных данных отсутствует температура в реакционной зоне.

16. В чём сущность метода множителей Лагранжа и как формируется функция Лагранжа в задаче оптимизации распределения сырья и в задаче минимизации общего объёма реакционной зоны.

17. В каких случаях пользуются методами нелинейного программирования.

18. Может ли быть одномерной задача оптимизации при наличии нескольких переменных в выражении функции.

19. Что общего между методами половинного деления и золотого сечения в стратегии выбора новых границ поиска.

20. Для унимодальных или полимодальных функций применимы рассматриваемые методы поиска экстремума.

21. Можно ли определить число обращений к функции выбранным методом для достижения экстремума с заданной точностью в заданных границах поиска без выполнения поиска.

22. Что общего в стратегии поиска экстремума в методах градиента и наискорейшего спуска.

23. Что общего в стратегии поиска экстремума в методах Гаусса - Зейделя и наискорейшего спуска.

24. Можно ли использовать указанные методы для поиска экстремума полимодальных функций?

25. В каких случаях применяется метод динамического программирования в дискретной форме.

26. В чём сущность принципа оптимальности Беллмана.

27. Каким образом реализуется принцип оптимальности через функциональные уравнения.

28. В каких случаях можно решать задачу как с конца, так и с начала рассматриваемого процесса.

29. В чём сущность состояний при параллельном соединении аппаратов.

30. Что является управлением в задаче распределения сырья
31. Какой смысл вкладывается в функциональное уравнение динамического программирования при параллельном соединении аппаратов.
32. Зависит ли структура функционального уравнения динамического программирования от начального выбора варьируемой нагрузки.
33. Что выбирается в качестве управлений в данной задаче.
34. Что общего в функциональных уравнениях динамического программирования при решении задачи для последовательно соединённых аппаратов и для параллельно соединённых аппаратов.
35. Что лежит в основе функционального уравнения динамического программирования независимо к структуре технолог. схемы.
36. Какой класс задач оптимизации решается симплекс-методом.
37. Каков вид области допустимых решений в задачах линейного программирования.
38. Какую форму имеет поверхность постоянного значения критерия оптимальности в задачах линейного программирования.
39. Каков признак оптимального базиса по симплекс-таблице.
40. В каких случаях нулевые значения всех искомым переменных не могут быть исходным базисом в задачах линейного программирования.
41. Какие методы выбора исходного базиса используются при условиях:  $\geq$ , совместно  $\geq$  и  $\leq$ .
42. В каких случаях задача с линейным критерием оптимальности и с линейными ограничениями не имеет решения.
43. Для какого класса функций применимо вариационное исчисление.
44. К какому виду вариационных задач относится данная задача.
45. С какой целью проверяется выполнение условий Лежандра.
46. Какова особенность вариационной задачи при ограничениях по температуре в реакционной зоне.
47. Почему общий функционал представляется в виде трёх составляющих
48. Какова последовательность действий при расчёте времени пребывания реагентов в реакторе идеального вытеснения с оптимальным температурным профилем.
49. Как устанавливается наличие экстремума функции Гамильтона при противоположных по знаку соотношений энергий активации.
50. Как устанавливается наличие экстремума функции Гамильтона при задании общего времени пребывания продукта в зоне реакции.
51. Какова последовательность расчёта для определения оптимального температурного профиля.
52. В чём особенность задачи на максимальное быстродействие.



53. Почему в системах второго порядка оптимальное управление только один раз меняет свой знак.

54. Как перейти от математической модели движения во временной области к математической модели в переменных состояниях.

55. Какое условие является признаком прихода процесса в статическое состояние.

56. К какому виду дифференциальных уравнений относится уравнение Беллмана.

57. Какие граничные условия нужно иметь для решения уравнения Беллмана.

58. В чём трудности решения уравнения Беллмана.

### **Критерии оценки к зачету**

#### **Отметка "Зачтено"**

Выставляется при условии, если студент показывает хорошие знания изученного учебного материала; самостоятельно, логично и последовательно излагает, и интерпретирует материалы учебного курса; полностью раскрывает смысл предлагаемого вопроса; владеет основными терминами и понятиями изученного курса; показывает умение переложить теоретические знания на предполагаемый практический опыт.

#### **Отметка "Не зачтено"**

Выставляется при наличии серьезных упущений в процессе изложения учебного материала; в случае отсутствия знаний основных понятий и определений курса или присутствии большого количества ошибок при интерпретации основных определений; если студент показывает значительные затруднения при ответе на предложенные основные и дополнительные вопросы; при условии отсутствия ответа на основной и дополнительный вопросы.

### **Оценочные средства для текущей аттестации**

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется преподавателем.

#### ***1. Устный опрос по темам лабораторных работ***

Устный опрос (собеседование) проводится по теории, вынесенной на самостоятельное изучение в соответствии с темой лабораторной работы.

*Критерии оценки устного опроса при сдаче отчетов лабораторных работ*

*Зачтено:* работа выполнена, правильно и грамотно оформлен отчет по лабораторной работе, законченные правильно выполненные расчеты, правильные ответы на теоретические вопросы по теме работы, владение терминологией.

*Не зачтено:* работа выполнена, в отчете ошибки по оформлению, выполненные расчеты содержат ошибки, ответы на теоретические вопросы по теме работы отсутствуют или не полные.

Оценка	Описание схемы оценивания
9-10	Демонстрирует полное понимание проблемы. Все требования, предъявляемые к заданию выполнены.
7-8	Демонстрирует значительное понимание проблемы. Все требования, предъявляемые к заданию выполнены.
4-6	Демонстрирует частичное понимание проблемы. Большинство требований, предъявляемых к заданию выполнены.
0-3	Демонстрирует непонимание проблемы. Нет ответа. Не было попытки решить задачу.

**2. Пример контрольной работы**

1. Дать определение оптимизации.
2. В чем отличие целевой функции от функционала?
3. В каких состояниях может находиться объект управления? Каковы признаки этих состояний?
4. Какими математическими выражениями описываются состояния объекта управления?
5. Сформулировать постановку задачи оптимального управления в стиле Лагранжа, Понтрягина, Беллмана.

**Критерии оценки к контрольной работе**

**Отметка "Отлично"**

1. Дан полный и правильный ответ на основе самостоятельно изученного материала и проведенных ранее лабораторных и практических работ.
2. Материал понят и изучен.

3. Материал изложен в определенной логической последовательности, литературным языком.

4. Ответ самостоятельный.

#### **Отметка "Хорошо"**

1, 2, 3, 4 – аналогично отметке "Отлично".

5. Допущены 2-3 несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя, наблюдалась "шероховатость" в изложении материала.

#### **Отметка "Удовлетворительно"**

1. Учебный материал, в основном, изложен полно, но при этом допущены 1-2 существенные ошибки.

2. Ответ неполный, хотя и соответствует требуемой глубине, построен несвязно.

#### **Отметка "Неудовлетворительно"**

1. Незнание или непонимание большей или наиболее существенной части учебного материала.

2. Допущены существенные ошибки, которые не исправляются после уточняющих вопросов, материал изложен несвязно.