

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УР  
А.В. Бурмистров



« 24 » 09. 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

По дисциплине Б1.В.ДВ.9.1 «Оптимизация химико-технологических процессов и систем»

Направление подготовки 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»  
(шифр) (наименование)

Профиль подготовки «Рациональное использование материальных и энергетических ресурсов»

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения очная

Институт, факультет институт пищевых производств и биотехнологии, факультет пищевых технологий

Кафедра-разработчик рабочей программы Системотехники

Курс, семестр 4, 7

	Часы	Зачетные единицы
Лекции	36	1
Практические занятия	-	-
Семинарские занятия	-	-
Лабораторные занятия	45	1,25
Самостоятельная работа	63	1,75
Форма аттестации	Экзамен, 36	1
Всего	180	5

Казань, 2018 г.

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 227 от 12 марта 2015 г.)

по направлению 18.03.023 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы  
(шифр) (наименование)  
в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

для профиля «Рациональное использование материальных  
энергетических ресурсов»

на основании учебного плана набора обучающихся 2015- 2018 года.

Разработчик программы:

профессор  
(должность)

  
(подпись)

Лаптева Т.В.  
(Ф.И.О.)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры системотехники, протокол от 3.09.2018 № 1.

Зав. кафедрой

  
(подпись)

Зиятдинов Н.Н.  
(Ф.И.О.)

### СОГЛАСОВАНО

Протокол заседания методической комиссии факультета пищевых технологий  
12.09 2018 г. № 1

Председатель комиссии, профессор

  
(подпись)

Сироткин А.С.  
(Ф.И.О.)

### УТВЕРЖДЕНО

Протокол заседания методической комиссии ФУА  
от 18.09 2018 г. № 2

Председатель комиссии, профессор

  
(подпись)

Зарипов Р.Н.  
(Ф.И.О.)

Нач. УМЦ, доцент

  
(подпись)

Китаева Л.А.  
(Ф.И.О.)

## **1. Цели освоения дисциплины**

Целями освоения дисциплины «Оптимизация химико-технологических процессов и систем» являются

а) формирование у студентов знаний современных подходов и методов, используемых при решении задач оптимизации стационарных режимов технологических процессов;

б) формирование у студентов представления о методологии оптимизации химико-технологических объектов с использованием современных программных средств;

в) воспитание у студентов навыков и приемов оптимизации химико-технологических процессов средствами современных программных пакетов.

## **2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Оптимизация химико-технологических процессов и систем» относится к дисциплинам по выбору вариативной части ООП и формирует у бакалавров, обучающихся по направлению подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», набор знаний, умений, навыков и компетенций, необходимых для выполнения производственно-технологической, организационно-управленческой, научно-исследовательской и проектной деятельности..

Для успешного освоения дисциплины «Оптимизация химико-технологических процессов и систем» бакалавр по направлению подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» должен освоить материал предшествующих дисциплин:

а) Б1.Б.6 Математика;

б) Б1.Б.7 Информатика;

в) Б1.В.ДВ.6.1 Методы оптимизации;

г) Б1.В.ОД.12 Дополнительные главы процессов и аппаратов химической технологии;

д) Б1.Б.17 Процессы и аппараты химической технологии.

Дисциплина «Оптимизация химико-технологических процессов и систем» является предшествующей и необходима для успешного усвоения последующих дисциплин:

а) Б1.В.ДВ.12.1 Системный анализ процессов химической технологии;

б) Б1.В.ДВ.12.2 Системный анализ и принятие решений;

Знания, полученные при изучении дисциплины «Оптимизация химико-технологических процессов и систем» могут быть использованы при прохождении практик (*преддипломной*) и выполнении *выпускных квалификационных работ*, могут быть использованы в *производственно-технологической, организационно-управленческой, научно-исследовательской и проектной* деятельности по направлению подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии».

### ***3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины***

1. ОПК-2 способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

2. ПК-9 способностью анализировать технологический процесс как объект управления;

3. ПК-14 способностью применять современные методы исследования технологических процессов и природных сред, использовать компьютерные средства в научно-исследовательской работе;

4. ПК-16 способностью моделировать энерго- и ресурсосберегающие процессы в промышленности.

#### ***В результате освоения дисциплины обучающийся должен:***

1) **Знать:** а) основные понятия теории нелинейного программирования, используемые при оптимизации химико-технологических процессов и систем;

- б) теоретические основы методологии оптимизации химико-технологических систем;
- в) основные этапы формализации задач поиска оптимальных режимов типовых химико-технологических процессов;
- г) современные методы и алгоритмы решения задач поиска глобальных оптимумов, нелинейного, дискретно-непрерывного программирования, используемые при оптимизации химико-технологических процессов и систем.

2) **Уметь:** а) корректно ставить задачи оптимизации стационарного режима химико-технологического процесса и определять класс полученной математической задачи;

б) корректно выбирать и использовать методы и алгоритмы решения задач поиска глобальных оптимумов, нелинейного, дискретно-непрерывного программирования при оптимизации химико-технологических процессов и систем;

в) анализировать результаты решения задач оптимизации химико-технологических процессов и систем с точки зрения адекватности рассматриваемому процессу химической технологии.

3) **Владеть:** а) навыками формирования задач в терминах используемого программного средства;

б) навыками реализации изученных алгоритмов для решения практических задач с использованием современных программных средств;

в) навыками представления результатов решения задач оптимизации химико-технологических систем средствами используемого программного пакета.

**4. Структура и содержание дисциплины «Оптимизация химико-технологических процессов и систем»**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы (в часах)				Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации по разделам
			Лекции	Семинар (Практические занятия)	Лабораторные работы	СР*	
1	Основные понятия и формулировки	7	10	-	10	22	контрольная работа
2	Современные методы нелинейного программирования	7	10	-	13	21	контрольная работа
3	Постановки задач оптимизации химико-технологических процессов и систем (ХТПС)	7	16	-	22	20	контрольная работа
Форма аттестации						Экзамен	

СР\* - самостоятельная работа бакалавра

**5. Содержание лекционных занятий по темам с указанием формируемых компетенций и используемых инновационных образовательных технологий.**

№ п/п	Раздел дисциплины	Часы	Тема лекционного занятия	Краткое содержание	Формируемые компетенции
1	Основные понятия и формулировки	2	1. Актуализация необходимых знаний. Слайд-фильм	Математические методы решения систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений. Элементы выпуклого анализа функций. Понятия критерия оптимальности и поисковых переменных. Постановка задачи безусловной оптимизации. Математические методы поиска экстремумов функции одной переменной. Постановка задачи условной оптимизации. Понятие ограничений и их виды.	ОПК-2 способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования; ПК-9 способностью анализировать технологический процесс как объект управления;
		4	2. Математическая модель ХТПС. Слайд-фильм	Подходы к моделированию ХТПС. Математическая модель структуры ХТПС. Математическая модель сложной ХТС как система нелинейных уравнений (СНУ). Методы решения СНУ.	
		2	3. Постановка задачи оптимизации стационарного режима работы ХТПС	Характеристика ограничений в задачах оптимизации ХТПС. Постановка задачи оптимизации сложных ХТПС. Выбор поисковых переменных при формировании задачи оптимизации ХТПС. Характеристика задачи оптимизации стационарного режима работы ХТПС как задачи оптимизации.	

		2	4. Особенности решения задачи оптимизации стационарного режима работы ХТПС	Уровни решения задачи оптимизации ХТПС. Управление точностью решения задачи оптимизации ХТПС. Вынос уровня сведения матбаланса ХТПС на уровень оптимизации ХТПС.	ПК-14 способностью применять современные методы исследования технологических процессов и природных сред, использовать компьютерные средства в научно-исследовательской работе; ПК-16 способностью моделировать энерго- и ресурсосберегающие процессы в промышленности.
2	Современные методы нелинейного программирования	1	5. Современные математические методы безусловной минимизации. Слайд-фильм	Классификация методов. Методы нулевого порядка. Методы типа спуска: градиента, наискорейшего спуска, сопряженных градиентов, Ньютона. Проблемы использования методов второго порядка. Квазиньютоновские методы: методы с памятью и без нее.	
		1	6. Условия Куна-Таккера. Слайд-фильм	Функция Лагранжа. Вид условий Куна Таккера в зависимости от типа ограничений задачи оптимизации. Проблема выпуклости решаемой задачи.	
		4	7. Методы нелинейного программирования. Слайд-фильм	Методы последовательной безусловной оптимизации (штрафов, модифицированной функции Лагранжа). Недостатки методов. Задача квадратичного программирования и ее особенности. Методы прямого учета ограничений (последовательного квадратичного программирования, внутренней точки). Анализ полученного решения задачи нелинейного программирования.	
		1	8. Многокритериальная оптимизация	Классификация подходов к решению задач многокритериальной оптимизации. Одноэтапные и многоэтапные методы оценок критериев: лексикографическая оптимизация, сведение к однокритериальной оптимизации.	
		3	9. Глобальная оптимизация. Слайд-фильм	Характеристика выпуклости задачи оптимизации ХТПС. Проблема поиска глобального оптимума методами нелинейного программирования. Метод ветвей и границ глобальной оптимизации: принципы построения верхней и нижней оценок критерия задачи оптимизации ХТПС. Алгоритм метода ветвей и границ.	
3	Постановки задач оптимизации ХТПС	2	10. Оптимизация стационарных режимов коллекторных систем Слайд-фильм	Характеристика объекта оптимизации и его влияние на постановку задачи. Принципы распределения нагрузок в коллекторных системах. Эвристические правила распределения нагрузок в коллекторных однородных системах.	
		4	11. Оценка гибкости действующих ХТПС Слайд-фильм	Понятие неопределенности в исходной информации и ее источники. Понятие гибкой ХТС. Формализация записи условия гибкости. Характеристика задачи оценки гибкости ХТПС как задачи оптимизации. Подходы к решению.	

		4	12. Оптимизация работы реакторных систем Слайд-фильм	Производительность идеальных реакторов. использование технологических критериев оптимальности: селективность при последовательных, при параллельных реакциях.	
		2	13. Проектирование оптимальных ХТПС Слайд-фильм	Постановка задачи проектирования оптимальных ХТПС. Характеристика задачи. Подходы к решению задачи. Учет неопределенности в исходной информации в задаче проектирования ХТПС и характеристика получаемых задач.	
		2	14. Синтез оптимальных ХТПС. Слайд-фильм	Постановка задачи синтеза оптимальных ХТПС. Характеристика задачи. Подходы к решению.	
		2	15. Дискретно-непрерывная оптимизация Слайд-фильм	Проблема решения дискретно-непрерывных задач оптимизации. Метод сведения к непрерывной задаче, проблема потери решения. Метод ветвей и границ: построение нижней и верхней оценок критерия задачи дискретно-непрерывной оптимизации. Алгоритм метода ветвей и границ.	

### ***6. Содержание практических/семинарских занятий***

Практические/семинарские занятия учебным планом не предусмотрены.

### ***7. Содержание лабораторных занятий (если предусмотрено учебным планом)***

<b>№ п/п</b>	<b>Раздел дисциплины</b>	<b>Часы</b>	<b>Наименование лабораторной работы</b>	<b>Формируемые компетенции</b>
1	Основные понятия и формулировки	4	1. Освоение приемов решения уравнений в MathCad	ОПК-2; ПК-9; ПК-14; ПК-16.
		2	2. Расчет материально-теплого баланса замкнутой ХТПС	
		2	3. Расчет материально-теплого баланса разомкнутой ХТПС	
		2	Выполнение контрольной работы.	
2	Современные методы нелинейного программирования	4	Сравнение эффективности работы методов безусловной минимизации	
		2	Формализация и решение задач безусловной оптимизации в MathCad, управление точностью, настройка методов	
		4	4. Анализ решения задачи условной оптимизации на основе условий Куна-Таккера.	
		2	Формирование модифицированных критериев для решения задач условной оптимизации методами Лагранжа и штрафов.	
		1	5. Формализация и решение задач нелинейного программирования в MathCad, управление точностью, настройка методов	
3	Постановки задач опти-	4	6. Параметрическая идентификация математической модели ХТПС	

мизации ХТПС	2	Выполнение контрольной работы.
	4	7.Оптимизация стационарного режима ХТПС
	4	8.Проектирование оптимальной замкнутой ХТС
	2	Выполнение контрольной работы.
	4	10. Проектирование оптимальной ХТС сложной структуры
	2	Выполнение контрольной работы.

Лабораторные работы проводятся в компьютерном классе кафедры системотехники, оборудованном 12 персональными компьютерами с выходом в Интернет, а также мультимедийными средствами отображения презентаций.

### 8. Самостоятельная работа бакалавра

№ п/п	Темы, выносимые на самостоятельную работу	Часы	Форма СР	Формируемые компетенции
1	Математическая модель ХТПС	15	<i>Подготовка к лабораторным работам</i>	ОПК-2 способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования; ПК-9 способностью анализировать технологический процесс как объект управления; ПК-14 способностью применять современные методы исследования технологических процессов и природных сред, использовать компьютерные средства в научно-исследовательской работе; ПК-16 способностью моделировать энерго- и ресурсосберегающие процессы в промышленности.
2	Современные математические методы безусловной минимизации	16	<i>Подготовка к лабораторным работам</i>	
3	Проектирование оптимальных ХТПС	16	<i>Подготовка к лабораторным работам</i>	
4	Методы многокритериальной и дискретно-непрерывной оптимизации	16	<i>Подготовка к лабораторным работам</i>	

### 9. Использование рейтинговой системы оценки знаний.

При оценке результатов деятельности бакалавров в рамках дисциплины «Оптимизация химико-технологических процессов и систем» используется рейтинговая система. Рейтинговая оценка формируется на основании текущего и промежуточного контроля. Максимальное и минимальное количество баллов по различным видам учебной работы описано в «Положении о балльно-рейтинговой системе оценки знаний студентов и обеспечения качества учебного процесса» (утверждено решением Ученого совета ФГБОУ ВО «КНИТУ», протокол №7 от 4 сентября 2017 г.).

При изучении дисциплины предусматривается выполнение 3 контрольных работ. За эти контрольные точки студент может получить максимальное количество баллов 60. По дисциплине «Оптимизация химико-технологических процессов и систем» промежуточным видом контроля является экзамен. За ответ на экзамене студент получает 40 баллов максимально. В результате максимальный текущий рейтинг составит 100 баллов.

Оценочные средства	Количество контрольных точек	Min, баллов	Max, баллов
Контрольная работа	3	36	60
Ответ на экзамене		24	40
Итого		60	100

## ***10. Информационно-методическое обеспечение дисциплины***

### ***10.1 Основная литература***

При изучении дисциплины «Оптимизация химико-технологических процессов и систем» в качестве основных источников информации рекомендуется использовать следующую литературу.

<b>Основные источники информации</b>	<b>Количество экземпляров</b>
1. Токарев В.В. Методы оптимальных решений. В 2 т. Т. 2. Многокритериальность. Динамика. Неопределённость. ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 420 с.	ЭБС «Книгафонд» <a href="http://www.knigafund.ru/books/207926">http://www.knigafund.ru/books/207926</a> , доступ из любой точки интернет после регистрации с IP-адресов КНИТУ
2. Островский Г.М. Оптимизация технических систем: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. подготов. "Системный анализ и управление". – М.: КНОРУС, 2016. – 421 с.	ЭБС BOOK.RU <a href="https://www.book.ru/book/920626/view2/1">https://www.book.ru/book/920626/view2/1</a> доступ из любой точки интернет после регистрации с IP-адресов КНИТУ
3. Островский Г.М. Технические системы в условиях неопределенности: анализ гибкости и оптимизация : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по направл. подготовки	ЭБС «Консультант студента» <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996325443.html%0A">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996325443.html%0A</a>

"Прикладная матем.". — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — 319 с.	доступ из любой точки интернет после регистрации с IP-адресов КНИТУ
--	---

### ***10.2 Дополнительная литература***

В качестве дополнительных источников информации рекомендуется использовать следующую литературу:

<b>Дополнительные источники информации</b>	<b>Количество экземпляров</b>
1. Гартман Т.Н. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. «Основные процессы хим. производств и хим. кибернетика». – М.: Академкнига, 2006. – 415 с.	200 экз. в УНИЦ КНИТУ
2. Нестеров Ю.Е. Введение в выпуклую оптимизацию. / ред. Б.Т. Поляк, С.А. Назин. — М.: МЦНМО, 2010. — 280 с.	2 экз. в УНИЦ КНИТУ
3. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов : практ. руководство / В.А. Холоднов [и др.] .— СПб. : Профессионал, 2003 .— 478	48 экз. в УНИЦ КНИТУ
4. Островский Г.М. Методы глобальной оптимизации сложных систем: учеб. пособие / Моск. гос. ин-т стали и сплавов. — М.: Учеба, 2005. — 104 с.	40 экз. в УНИЦ КНИТУ
5. Лисицын Н.В. Химико-технологические системы: оптимизация и ресурсосбережение: учеб. пособие для студ. вузов. – СПб.: Менделеев, 2007. – 312 с.	2 экз. в УНИЦ КНИТУ

### ***10.3 Электронные источники информации***

При изучении дисциплины «Оптимизация химико-технологических процессов и систем» рекомендуется использовать электронные источники информации:

1. Электронный каталог УНИЦ КНИТУ – Режим доступа: <http://ruslan.kstu.ru/>

2. ЭБС «Книгафонд» – Режим доступа: <http://www.knigafund.ru>
3. ЭБС BOOK.RU– Режим доступа: <https://www.book.ru/>
4. ЭБС Консультант студента– Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru>

**Согласовано:**

Зав.сектором ОКУФ



## ***11. Оценочные средства для определения результатов освоения дисциплины***

Оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся разрабатываются согласно положению «О Фонде оценочных средств по дисциплине (модулю)», являются неотъемлемой частью рабочей программы и оформлены отдельным документом.

## ***12. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).***

### **1. Лекционные занятия:**

- а. комплект электронных слайдов-фильмов по каждой теме лекционных занятий,
- б. аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ ноутбук),

### **2. Лабораторные работы:**

- а. компьютерный класс,
  - б. презентационная техника (проектор, экран, компьютер/ноутбук),
  - в. пакеты лицензионного ПО общего назначения (пакет Microsoft Office),
  - г. специализированное лицензионное ПО: MathCad.
  - д. справочная информационная онлайн-система «Регламент» – режим доступа <http://www.reglament.pro/>, доступ из любой точки интернет после регистрации с IP-адресов КНИТУ,
  - е. база данных «Knovel» издательства Elsevier – режим доступа <https://app.knovel.com/web/>
  - ж. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет,
- з. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

## ***13. Образовательные технологии***

Удельный вес занятий по дисциплине «Оптимизация химико-технологических процессов и систем», проводимых в интерактивных формах, составляет 30 часов лабораторных занятий, что составляет 37 % от аудиторной нагрузки.

Интерактивные часы реализуются с помощью следующих образовательных технологий:

- компьютерные симуляции,
- методы проблемного обучения,
- работа в команде.