

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Институт химии

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института химии  
д.х.н., профессор Федотова О.В.

  
"23" 08 / 2018 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**"Окислительные процессы в химической технологии"**

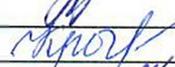
Направление подготовки  
**18.03.01 Химическая технология**

Профиль подготовки  
**Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов**

Квалификация (степень) выпускника  
**Бакалавр**

Форма обучения  
**очная**

Саратов,  
2018

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Аниськова Татьяна Владимировна		30.08.2018
Председатель НМК	Крылатова Яна Георгиевна		30.08.2018
Заведующий кафедрой	Кузьмина Раиса Ивановна		30.08.2018
Специалист Учебного управления			

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины *"Окислительные процессы в химической технологии"* является формирование компетенций связанных с:

- знанием общих методов и приемов использования окислительных процессов в химической технологии для решения задач химической технологии применительно к массовому производству;
- формированием и развитием у студентов основы технологического и экологического мышления;
- выработкой навыков владения современными методами окислительных процессов важнейших химических производств;
- формированием практических навыков для решения конкретных технологических задач, связанных с процессами окисления .

## 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Окислительные процессы в химической технологии» является дисциплиной по выбору и относится к вариативной части блока «Дисциплины» (шифр Б.1В.ДВ.6.2) по направлению подготовки 18.03.01 – Химическая технология.

Обучение по данной дисциплине базируется главным образом на знаниях, полученных студентами в процессе изучения курсов общая и неорганическая химия, органическая химия, физическая химия, высшая математика, физика, термодинамика.

Полученные в результате изучения данной дисциплины знания и навыки необходимы инженеру для системного подхода к проектированию и созданию технологических схем производства, проведения технологических расчетов и моделирования реакторов и технологических процессов и в целом найдут применение в ходе изучения дисциплин:

- Системы управления химико-технологическими процессами;
- Химическая технология топлив и углеродных материалов;

- Общая химическая технология.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Окислительные процессы в химической технологии»:

- готовностью проводить стандартные и сертификационные испытания материалов, изделий и технологических процессов (ПК-17).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

#### •Знать:

- механизмы реакций окисления;
- основные процессы окисления, используемые в химической технологии;
- методы оптимизации химико-технологических процессов с применением эмпирических и физико-химических моделей;
- основные химические производства, основанные на процессе окисления;
- технологическое оформление процесса окисления в жидкой и газовой фазах.

#### •Уметь:

- выбирать рациональную схему производства заданного продукта;
- оценивать технологическую эффективность производства.

#### • Владеть:

- методами анализа эффективности работы химических производств;
- определением технологических показателей процесса;
- методами выбора химических реакторов;

### 4. Структура и содержание дисциплины (модуля)

*"Окислительные процессы в химической технологии"*

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц 288 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Се ме стр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекц ии	лаб. раб.	срс	
1	Практическое значение процессов окисления и их классификация. Окислительные агенты и техника безопасности в процессах окисления. Энергетическая характеристика реакций окисления.	5	1-3	6	8	16	Отчет по теме лабораторной работы.
2	Окисление углеводов в газовой фазе.		4-6	6	8	16	Отчет по теме лабораторной работы.
3	Окисление алканов и циклоалканов.	5	7-9	6	8	16	Отчет по теме лабораторной работы.
4	Производство ацетилена окислительным пиролизом метана.	5	10-11	4	8	16	Отчет по теме лабораторной работы.
5	Производство высших жирных кислот и высших жирных спиртов окислением высших алканов.	5	12-13	4	8	16	Отчет по теме лабораторной работы.
6	Технология получения фенола и ацетона кумольным методом.	5	14-15	4	8	16	Отчет по теме лабораторной работы.
7	Производство альдегидов.	5	16	2	8	16	Отчет по теме лабораторной работы.
8	Производство уксусной кислоты и уксусного ангидрида.	5	17	2	8	16	Отчет по теме лабораторной работы.
9	Окислительное сочетание.	5	18	2	8	16	Отчет по теме лабораторной работы.
	Итого часов (зачетных единиц трудоемкости)			36	72	144	экзамен 36
Итого:							288

## Содержание лекционного курса

### **Практическое значение процессов окисления и их классификация.**

Определение и классификация процессов окисления. Окислительные агенты и техника безопасности в процессах окисления. Энергетическая характеристика реакций окисления.

Общие представления о механизме окисления углеводородов и их производных молекулярным кислородом в жидкой фазе. Преимущества окисления в жидкой фазе. Автоокисление углеводородов. Теория Баха-Энглера. Теория вырожденно-разветвленных цепных реакций автоокисления. Принципиальная схема автоокисления. Радикально-цепное окисление. Кинетика и катализ реакции. Селективность окисления. Реактора для процессов жидкофазного окисления.

### **Окисление углеводородов в газовой фазе.**

Температурный режим осуществления реакции. Окисление метана. Схема образования кислородсодержащих соединений при окислении пропана в газовой фазе. Технологические схемы окисления углеводородов  $C_3-C_4$  в газовой фазе.

### **Окисление алканов и циклоалканов.**

Жидкофазное окисление *n*-алканов. Механизм образования продуктов окисления. Окисление легких фракций  $C_4-C_8$  в промышленности. Окисление высших алканов. Автоокисление циклоалканов. Схема окисления циклогексана. Мономолекулярный и бимолекулярный механизм распада циклогексилгидропероксида. Окисление циклогексанола. Окисление циклогексанона. Катализаторы процесса окисления циклогексана. Окисление циклоалканов воздухом в присутствии соединений бора: механизм и кинетика процесса.

### **Производство ацетиленов окислительным пиролизом метана.**

Физико-химические особенности процесса. Оптимальные условия осуществления процесса. Технологическая схема производства ацетиленов окислительным пиролизом метана. Реактор окислительного пиролиза.

### **Производство высших жирных кислот окислением высших алканов.**

Механизм окисления высших алканов до ВЖК. Технологическая схема производства. Технологическая схема производства высших жирных спиртов.

### **Технология получения фенола и ацетона кумольным методом.**

Способы получения фенола. Технологическая схема производства фенола и ацетона кумольным методом.

### **Производство альдегидов.**

Технологические свойства и применение формальдегида. Производство формальдегида окислительным дегидрированием метанола. Производство

формальдегида окислением метанола. Производство ацетальдегида окислением метанола. Одностадийный и двухстадийных способ производства ацетальдегида окислением метанола. Синтез ацетальдегида окислением этилена: катализаторы, кинетика, механизм процесса.

#### **Производство уксусной кислоты и уксусного ангидрида.**

Технологические свойства и применение. История и промышленные методы производства уксусной кислоты и уксусного ангидрида. Производство уксусной кислоты окислением ацетальдегида: физико-химические основы процесса, технологическая схема производства уксусной кислоты, технологическая схема совместного производства уксусной кислоты и уксусного ангидрида.

#### **Окислительное сочетание.**

Окислительное сочетание ароматических соединений: катализаторы, механизм. Окислительная димеризация олефинов.

### **5. Образовательные технологии**

При освоении дисциплины используются следующие образовательные технологии:

- весь курс лекций (36 ч.) сопровождается мультимедийными материалами (в программе Power Point);
- подготовлен современный учебный материал для лабораторных занятий;
- лабораторные занятия осуществляются с обсуждением различных вариантов решения поставленных задач, по тематике лабораторные работы соответствуют темам самостоятельной работы;

Интерактивные методы обучения включают:

- учебных дискуссий по темам лекционного материала и вопросов самостоятельной работы студентов.

При освоении данного курса инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья предоставляется больше времени на выполнение работ, дополнительное оборудование, в частности ноутбук, который находится в распоряжении Института специально для работы на нем только инвалидов. Также данной категории студентов дается больше времени на ответы.

### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Самостоятельная работа студентов, направленная на углубление и закрепление знаний, а также развитие практических умений заключается в:

- работе обучающихся с лекционным материалом, поиске и анализе материалов из литературных и электронных источников информации по заданной теме,
- выполнении домашних заданий,
- оформлении отчетов по практическим работам,
- переводе материалов из тематических информационных ресурсов с иностранных языков,
- изучении тем, вынесенных на самостоятельную проработку,
- изучении теоретического материала к практическим занятиям,
- изучении методических указаний и подготовке к выполнению практических работ,
- подготовке к экзамену.

### Перечень лабораторных работ

1. Получение адипиновой кислоты.
2. Получение бензойной кислоты.
3. Окисление спиртов хлоридом палладия и нитратом меди.
4. Получение эпоксидов из олефинов.
5. Получение красителя анилинового-черного окислением анилина.
6. Получение сульфоксидов ароматического ряда.
7. Получение уксусной кислоты.

### Вопросы для самостоятельной работы студентов:

1. Производство адипиновой кислоты в промышленности.
2. Производство ароматических карбоновых кислот.
3. Технология получения акрилонитрила.
4. Производство циклогексанона.
5. Окисление углеводов в моногидропероксиды.
6. Окисление м- и п-диизопрпилбензолов в дигидропероксиды.
7. Окисление метилбензолов в ароматические карбоновые кислоты.
8. Сульфокисление парафиновых углеводов.
9. Окисление органических соединений озоном.

### Перечень вопросов для оценки знаний студентов по курсу *"Окислительные процессы в химической технологии"*

1. Что такое окисление. Приведите классификацию процессов окислению.

2. Назовите основные окислительные агенты. Основные положения техники безопасности при работе с окислительными агентами.
3. Энергетика реакций окисления.
4. Окисление углеводородов молекулярным кислородом в жидкой фазе. Механизм.
5. Основные положения теории Баха-Энглера.
6. Окисление в жидкой фазе.
7. Теория вырожденно-разветвленных цепных реакций.
8. Автоокисление.
9. Окисление по радикально-цепному механизму.
10. Основные катализаторы окисления по радикально-цепному механизму, кинетические особенности данного процесса.
11. Принцип работы реактора процессов жидкофазного окисления.
12. Окисление в газовой фазе.
13. Механизм окисления метана.
14. Окисление пропана в газовой фазе. Образование кислородсодержащих соединений.
15. Технологическая схема окисления  $C_3-C_4$  в газовой фазе.
16. Механизм жидкофазного окисления *n*-бутанов.
17. Автоокисление циклоалканов.
18. Механизм окисления циклогексанола.
19. Механизм окисления циклогексанона.
20. Мономолекулярный и бимолекулярный механизм окисления алканов.
21. Механизм окисления циклоалканов в присутствии соединений бора. Кинетические особенности процесса.
22. Получение высших жирных кислот.
23. Технологическая схема производства высших жирных кислот.
24. Технология производства высших спиртов жирного ряда.
25. Технология производства фенола кумольным методом.
26. Формальдегид: технологические свойства и применение.
27. Окислительное дегидрирование метанола.
28. Окисление метанола.
29. Одностадийный и двухстадийный методы производства ацетальдегида.
30. Окисление этилена до ацетальдегида. Механизм. Особенности процесса.
31. Уксусная кислота и уксусный ангидрид: свойства и применение.
32. Промышленные методы получения уксусной кислоты и уксусного ангидрида.
33. Окисление ацетальдегида до уксусной кислоты.
34. Технологическая схема производства уксусной кислоты.

35. Технологическая схема совместного производства уксусной кислоты и уксусного ангидрида.
36. Что такое окислительное сочетание.
37. Окислительное сочетание в ряду ароматических соединений.
38. Окислительное сочетание в ряду непредельных соединений.

## 7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

**Таблица 1. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности (конт. раб.)	Промежуточная аттестация (экзамен)	Итого
5	10	35	0	15			40	100

### Программа оценивания учебной деятельности студента по дисциплине Лекции

Диапазон баллов	Критерий оценки
0 баллов	Посещение менее 3 лекционных занятий (менее 28%)
1-3 балла	Посещение 4-6 лекционных занятий (28-39%)
4-5 баллов	Посещение 7-9 лекционных занятий (44-50%)
6-7 баллов	Посещение 10-12 лекционных занятий (55-61%)
8-9 баллов	Посещение 13-15 лекционных занятий (67-78%)
10 баллов	Посещение 16-18 лекционных занятий (89-100%) и участие в лекционных дискуссиях

### Лабораторные занятия

Количество баллов за 1 работу (всего предусмотрено 7 работ)	Критерий оценки
0	Работа не выполнена
1	Сдан только теоретический отчет, работа не выполнена
2	Сдан теоретический отчет, работа выполнена с помощью инженера или преподавателя
3	Сдан теоретический отчет, работа выполнена самостоятельно

	и оформлена
4	Работа выполнена самостоятельно, аккуратно оформлена и сдана в срок.
5	Работа выполнена самостоятельно, аккуратно оформлена и сдана в срок, студентом даны исчерпывающие ответы на все вопросы.

### Практические занятия

Не предусмотрены

### Самостоятельная работа

15 баллов, оцениваться качество выполненных домашних работ, правильность выполнения, грамотность в оформлении.

### Другие виды учебной деятельности

Не предусмотрены

**Промежуточная аттестация (экзамен)** 40 баллов, проходит в виде устного опроса: знание основных определений и законов (10 баллов), умение записать итоговые уравнения (10 баллов), анализ основных уравнений, пределы их применимости, практическая значимость (20 баллов)

при проведении промежуточной аттестации

ответ на «отлично» оценивается от 35 до 40 баллов;

ответ на «хорошо» оценивается от 27 до 34 баллов;

ответ на «удовлетворительно» оценивается от 20 до 26 баллов;

ответ на «неудовлетворительно» от 0 до 19 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 5 семестр по дисциплине «*Окислительные процессы в химической технологии*» составляет 200 баллов (100 баллов по дисциплине и 100 баллов за курсовую работу).

Таблица 2. Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «*Окислительные процессы в химической технологии*» в оценку (экзамен):

85-100 баллов	«отлично»
70-84 баллов	«хорошо»
55- 69 баллов	«удовлетворительно»
0- 54 баллов	«не удовлетворительно»

**8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины "Окислительные процессы в химической технологии".**

**а) основная литература:**

1. Закгейм, А. Ю. Общая химическая технология. Введение в моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Закгейм А. Ю. - Москва : Логос, 2012. - 304 с. - ISBN 978-5-98704-497-1 : Б. ц. Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.

**б) дополнительная литература:**

1. Пугачев, В. М. Химическая технология [Электронный ресурс] / В. М. Пугачев. - Москва : КемГУ (Кемеровский государственный университет), 2014. - ISBN 978-5-8353-1682-3 : Б. ц. ЭБС «Лань»

**9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные лаборатории № 10, 11 (для проведения лабораторных и практических занятий), нижняя аудитория 1-го учебного корпуса (для проведения лекционных занятий), Хроматограф Кристалл-5000; Рефрактометр УРФ-22; Печи электрические-1000; Часы газовые ГСБ-400 кл; Установка пиролиза; Установка дегидрирования углеводородов; Весы ВЛА-200; Весы АДВ-200; Насос Камовского; Шкаф сушильный SNOЛ 58/350; Шкаф сушильный КПС-1-2D; Колориметр фотоэлектрический однолучевой КФО; Реактор проточного типа; Реактор смешения; Реометры; миллиамперметры; Аквадистиллятор ДЭ10; Баллоны с CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>; Вытяжной шкаф.

Обучающиеся инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья будут обеспечены печатными и электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 18.03.01 «Химическая технология» и профилю подготовки «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов».

Автор к.х.н., доцент Аниськова Т.В.

Программа одобрена на заседании кафедры химической технологии нефти и газа от «18» марта 2011 года, протокол № 08.

Программа актуализирована в 2015 году (одобрена на заседании кафедры нефтехимии и техногенной безопасности от «31» августа 2015 года, протокол № 01).

Программа актуализирована в 2016 году (одобрена на заседании кафедры нефтехимии и техногенной безопасности от «14» октября 2016 года, протокол № 03).

Программа актуализирована и одобрена на заседании кафедры нефтехимии и техногенной безопасности от «30» августа 2018 года протокол №1.