

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет  
Кафедра нанокompозитных материалов**



**Рабочая программа дисциплины**

**ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА  
ХИМИЧЕСКОГО И ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**  
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы  
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2022

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. ....	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....	4
5. Перечень учебной литературы. ....	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	8

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

Курс «Основы моделирования и расчета химического и теплообменного оборудования» предназначен для приобретения приобщения магистрантами современных представлений о химико-технологическом процессе, методике построения технологических схем, типах и специфике химического и теплообменного моделирования, методах его моделирования, расчета и оптимизации.

Для достижения этой цели выделяются задачи курса:

- освоение обучающимися базовых представлений о химико-технологических процессах и методике построения технологических схем;
- получение сведений об основных типах химико-технологических процессов (процессы тепло- и массообмена, разделения, реакционные процессы и пр.);
- получение сведений об основных типах аппаратов для реализации химико-технологических процессов (теплообменники, насосы и трубопроводы, химические реакторы и пр.);
- освоение современных методов моделирования, расчетов и оптимизации химико-технологических процессов и аппаратов;
- получение обучающимися навыков работы с современным программным обеспечением для моделирования, расчетов и оптимизации химико-технологических процессов и аппаратов.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-1</b> Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<p><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> <p><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>Знать</b> химико-технологический процесс, методику построения технологических схем, типы и специфику химического и теплообменного моделирования, методы его моделирования, расчет и оптимизацию.</p> <p><b>Уметь</b> проводить построение химико-технологических схем, их расчет и оптимизацию.</p> <p><b>Владеть</b> представлениями об основных процессах и аппаратах химической технологии, методах их моделирования, расчета и оптимизации.</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Основы моделирования и расчета химического и теплообменного оборудования» является одной из дисциплин по выбору по направлению подготовки 03.04.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика». Дисциплина «Основы моделирования и расчета химического и теплообменного оборудования» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата. Дисциплина должна предшествовать выполнению магистерской диссертации т.к. дает

магистранту необходимые знания и навыки для выполнения на современном уровне представлений о химико-технологическом процессе, методике построения технологических схем, типах и специфике химического и теплообменного моделирования, методах его моделирования, расчета и оптимизации.

**3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции и практические занятия, консультации, самостоятельная работа магистранта и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: контрольные вопросы на знание материала предыдущей лекции, домашние задания, контрольные работы, задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 16 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена и экзамен) – 22 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

Дисциплина «Основы моделирования и расчета химического и теплообменного оборудования» представляет собой полугодовой курс, читаемый в магистратуре физического факультета НГУ в первом семестре 1 курса. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студен- тов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Основные процессы химической технологии, методы построения химико-технологических схем	1-4	17	6	6	5	
2	Основные типы химико-технологических и теплообменных аппаратов, их конструкции и особенности	5-8	15	6	4	5	
3	Контрольная работа	9	4		2	2	
4	Методы моделирования, расчета и оптимизации химических и теплообменных аппаратов	10-14	14	4	4	6	
5.	Самостоятельная подготовка к экзамену		18				18
6	Групповая консультация		2				2
7.	Экзамен		2				2
<b>Всего</b>			<b>72</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>24</b>

### Программа и основное содержание лекций (16 часов)

#### Программа курса лекций

**Модуль 1. Основные процессы химической технологии, методы построения химико-технологических схем.** Введение. Предмет химической технологии, история, методология. Основные принципы построения технологических схем. Основные процессы химической технологии. Процессы разделения смесей. Ректификация, абсорбция, адсорбция, фильтрация, выпарка, экстракция, классификация. Реакционные процессы. Теплообменные процессы. Транспорт потоков в химической технологии. Примеры построения технологических схем на примере производств аммиака, серной кислоты, технологий по защите окружающей среды. Общие принципы расчета и оптимизации технологических схем. Материальный и энергетический баланс схем, расходные показатели.

**Модуль 2. Основные типы химико-технологических и теплообменных аппаратов, их конструкции и особенности.**

**1. Массообменные аппараты.** Дискретный и непрерывный массообмен. Общие принципы осуществления массообмена и его интенсификации в различных системах.

2. Ректификационные и дистилляционные колонны, абсорберы и адсорберы, экстракторы, выпарные аппараты, классификаторы: классификация, основные типы, конструкционные и технологические особенности.

3. Аппараты для создания и разделения эмульсий и суспензий: классификация, основные типы, конструкционные и технологические особенности.

4. Химические реакторы: классификация, основные типы, конструкционные и технологические особенности.
5. Оборудование для транспорта потоков. Насосы, компрессоры: классификация, основные типы, конструкционные и технологические особенности.
6. Теплообменные аппараты: классификация, основные типы, конструкционные и технологические особенности. Регенеративные и рекуперативные теплообменники. Аппараты с однофазным и многофазным теплообменом. Испарители, конденсаторы.

### **Модуль 3. Методы моделирования, расчета и оптимизации химических и теплообменных аппаратов.**

- 1. Общие принципы моделирования, расчета и оптимизации химико-технологических процессов.** Общие принципы построения математических моделей. Эмпирические и содержательные модели. Стратифицированные модели. Масштабирование химико-технологических процессов на основе методов моделирования
- 2. Математические модели и принципы расчета массообменных процессов и аппаратов.** Термодинамика и кинетика массообменных процессов в однофазных и многофазных средах.
3. Принципы расчета и оптимизации процессов ректификации, дистилляции, экстракции и абсорбции и аппаратов для их осуществления.
4. Математические модели и принципы расчета химических аппаратов. Построение математических моделей для широкого класса химических реакторов: общие принципы и подходы. Термодинамика и кинетика химических реакций. Влияние процессов переносов тепла и массы при протекании химических реакций в аппаратах различного масштаба.
5. Техническая гидравлика, расчет трубопроводов. Гидродинамика потоков. Расчет насосов и компрессоров.
6. Математические модели и принципы расчета теплообменных процессов и аппаратов. Физические основы теплообменных процессов в однофазных и многофазных средах, а также в ходе фазовых переходов.
7. Моделирование и расчет рекуперативных теплообменников. Факторы, определяющие интенсивность теплообмена в рекуператорах тепла. Расчет значений коэффициентов теплообмена в трубчатых теплообменниках для газовых, жидкостных и многофазных сред. Упрощенный расчет рекуперативных теплообменников.
8. Моделирование и расчет регенеративных теплообменников. Факторы, определяющие интенсивность теплообмена в регенераторах тепла. Расчет значений коэффициентов теплообмена в насадочных регенеративных теплообменниках.

### **Программа практических занятий (16 часов)**

- 1. Построение и анализ химико-технологических схем.** Построение химико-технологических схем. Современное программное обеспечение для построения, расчета и оптимизации технологических схем (Aspen Plus, Aspen Hysys, Флокас). Практические занятия с использованием указанного ПО по построению схем, и их анализу.
- 2. Расчеты основных аппаратов химической технологии.** Упрощенные расчеты аппаратов химической технологии. Примеры расчета химических реакторов и теплообменников на основе упрощенных подходов с использованием стандартного коммерческого ПО (Microsoft Excel, Mathcad).

**3. Моделирование основных аппаратов химической технологии.** Современное программное обеспечение для физического моделирования основных аппаратов химической технологии (на примере Comsol Multiphysics). Практические занятия с использованием указанного ПО по моделированию химических реакторов и теплообменников.

#### Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	6
Подготовка к контрольным работам	6
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6
Подготовка к экзамену	18

#### 5. Перечень учебной литературы.

1. Плановский, Александр Николаевич. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии : Учеб.для вузов. 2-е изд.,перераб.и доп. М. : Химия, 1972. 493 с. : ил. Шифр хранения Л ПЗ72 (15 экз.)
2. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию : учебное пособие для студентов химико-технологических специальностей высших учебных заведений / [Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др.] ; под ред. Ю.И. Дытнерского. 5-е изд., стер., перепеч. с изд. 1991 г. (2-е изд., перераб. и доп.). Москва : АльянС, 2010. 493 с. : ил., табл. ; 24 см. Шифр хранения Л О-752. (4 экз.)

#### 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. А.Н.Загоруйко. Основы математического моделирования каталитических реакторов. Методические материалы НОЦ ЭК НГУ. <http://eec.nsu.ru/download.php/?name=Загоруйко%20Основы%20мат%20моделирования.pdf>
2. А.О.Кузьмин. Введение в механику жидкости, явления переноса, техническую термодинамику для студентов химических специальностей. Методические материалы НОЦ ЭК НГУ. <http://eec.nsu.ru/download.php/?name=Введение%20в%20механику%20жидкости.pdf>
3. Саттерфилд, Чарльз Н. Массопередача в гетерогенном катализе = Mass Transfer in Heterogeneous Catalysis / Ч.Н. Саттерфилд ; Пер. с англ. А.Р. Брун-Цехового. М. : Химия, 1976. 240 с. : ил. ; 22 см. (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии). Шифр хранения Г5 С214

#### 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

## **7.1 Современные профессиональные базы данных**

Не используются.

## **7.2. Информационные справочные системы**

Не используются.

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

Для обеспечения реализации дисциплины используются аудитории, оборудованные всем необходимым для чтения лекций (доска, экран, компьютер, мультимедийный проектор), в том числе стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Компьютерный класс для практические занятия, оборудованный программным обеспечением - Aspen Plus, Aspen Hysys, SolidWorks, Comsol Multiphysics, Microsoft Excel, Mathcad.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### ***Текущий контроль***

Освоение компетенций оценивается по пятибалльной шкале. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК сформирована в части,



относящейся к формированию способности использовать в профессиональной деятельности. Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в виде экзамена. Оценка успеваемости магистранта при прохождении дисциплины «Основы моделирования и расчета химического и теплообменного оборудования» проводится путем 15-минутного тестирования на знание материала предыдущей лекции (на каждом занятии), сдачи домашних заданий и написания контрольных работ.

### ***Промежуточная аттестация***

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

В зависимости от результатов работы в течение семестра магистрант имеет право на получение оценки на основании балльно-рейтинговой системы. Для этого он должен:

- в ходе прохождения дисциплины посетить не менее 50 % занятий;
- написать на положительные оценки две контрольных работы;
- набрать не менее 60 баллов по результатам контрольных работ, блиц-тестирования, активность на практических занятиях и решение домашних заданий.

Оценка за текущую работу в семестре выводится как средневзвешенная из полученных магистрантом баллов по результатам работы. Баллы складываются из оценок за блиц-тесты и контрольные работы (с весами 1 и 5 соответственно) и бонусов за активность на практических занятиях (полбалла). Максимальная сумма баллов – 100 и более (за счет бонусов); «отлично», «хорошо» и «удовлетворительно» соответствуют суммам 90, 80 и 60. Освоение компетенций оценивается по двухбалльной шкале «сформирована / не сформирована».

Итоговую оценку за семестр, обучающийся может получить на экзамене в конце семестра, где он имеет возможность либо повысить оценку, полученную им за работу в семестре, либо получить любую положительную (или неудовлетворительную) оценку в случае отсутствия у него «оценки-автомата» по результатам работы в семестре.

Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

### **Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины**

Таблица 10.1

<b>Индикатор</b>	<b>Результат обучения по дисциплине</b>	<b>Оценочные средства</b>
<b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<b>Знать</b> химико-технологический процесс, методику построения технологических схем, типы и специфику химического и теплообменного моделирования, методы его моделирования, расчет и оптимизацию.	Проведение тестирования, экзамен

<p><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>Уметь</b> проводить построение химико-технологических схем, их расчет и оптимизацию.  <b>Владеть</b> представлениями об основных процессах и аппаратах химической технологии, методах их моделирования, расчета и оптимизации.</p>	<p>Проведение тестирования, экзамен</p>
---	--	---

**10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Основы моделирования и расчета химического и теплообменного оборудования».**

**Таблица 10.2**

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

### 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

#### Вариант тестового задания №1

Тестовые задания	Ключ, модельный ответ, условия подсчета баллов						
<b>1. Выберите один или несколько ответов к вопросу из приведенного списка.</b>							
<b>1. Процесс ректификации используется для:</b> а) разделения смесей жидкость-твердое б) разделения газообразных смесей в) разделения жидких смесей г) очистки запыленных газов	в) разделения жидких смесей  <b>Количество баллов:</b> дан ответ в – 1 балл						
<b>2. Какой процесс разделения основан на различиях в летучестях компонентов:</b> а) экстракция б) абсорбция в) адсорбция г) ректификация	б) абсорбция г) ректификация <b>Количество баллов:</b> дан ответ б и г – 1 балл дан ответ б или г – 0,5 балла						
<b>3. Какой процесс может использоваться для очистки природного газа от сероводорода:</b> а) абсорбция б) седиментация в) фильтрация г) адсорбция	а) абсорбция г) адсорбция <b>Количество баллов:</b> дан ответ б и г – 1 балл дан ответ б или г – 0,5 балла						
<b>2. Правильный ответ обведите</b>							
<b>4. Повышение флегмового числа в процессе ректификации:</b> а) повышает эффективность разделения смеси или б) снижает эффективность разделения смеси	а) повышает эффективность разделения смеси <b>Количество баллов:</b> дан ответ а – 1 балл.						
<b>5. Регенерация сорбента при обратимой адсорбции обеспечивается:</b> а) повышением давления б) нагревом сорбента	б) нагревом сорбента <b>Количество баллов:</b> дан ответ б – 1 балл.						
<b>3. Закрытый вопрос на установление соответствия</b>							
<b>6. Какие типы реакторов рассматриваются в ПО Aspen Plus и в каких случаях они используются?</b>  1) Стехиометрический реактор 2) Реактор с мешалкой 3) Реактор с расчетом равновесий через константы равновесия 4) Реактор с расчетом равновесий по методу Гиббса	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Характеристика задачи</th> <th style="text-align: left;">Тип реактора</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Моделирование схем без учета влияния равновесий в протекающих реакциях</td> <td>Стехиометрический реактор</td> </tr> <tr> <td>Моделирование схем с учетом</td> <td>Реактор с расчетом равновесий через</td> </tr> </tbody> </table>	Характеристика задачи	Тип реактора	Моделирование схем без учета влияния равновесий в протекающих реакциях	Стехиометрический реактор	Моделирование схем с учетом	Реактор с расчетом равновесий через
	Характеристика задачи	Тип реактора					
	Моделирование схем без учета влияния равновесий в протекающих реакциях	Стехиометрический реактор					
Моделирование схем с учетом	Реактор с расчетом равновесий через						
<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td>Моделирование схем без учета влияния равновесий в протекающих реакциях</td> <td>Стехиометрический реактор</td> </tr> <tr> <td>Моделирование схем с учетом</td> <td>Реактор с расчетом равновесий через</td> </tr> </tbody> </table>	Моделирование схем без учета влияния равновесий в протекающих реакциях	Стехиометрический реактор	Моделирование схем с учетом	Реактор с расчетом равновесий через			
Моделирование схем без учета влияния равновесий в протекающих реакциях	Стехиометрический реактор						
Моделирование схем с учетом	Реактор с расчетом равновесий через						
<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td>Моделирование схем с учетом</td> <td>Реактор с расчетом равновесий через</td> </tr> </tbody> </table>	Моделирование схем с учетом	Реактор с расчетом равновесий через					
Моделирование схем с учетом	Реактор с расчетом равновесий через						

Характеристика задачи	Тип реактора	равновесий для одинокных реакций простых реакционных систем	константы равновесия
Моделирование схем без учета влияния равновесий в протекающих реакциях		Моделирование схем с учетом равновесий для однокных реакций или простых реакционных систем	Реактор с расчетом равновесий по методу Гиббса
Моделирование схем с учетом равновесий для однокных реакций или простых реакционных систем		Не используется в ПО Aspen Plus	Реактор с мешалкой
Моделирование схем с учетом равновесий для однокных реакций или простых реакционных систем		<b>Количество баллов:</b> дан правильный ответ – 1 балл.	
<b>4. Выберите один или несколько ответов к вопросу из приведенного списка</b>			
<b>7. В схеме синтеза аммиака трубчатый реактор используется для осуществления реакции</b> а) Вторичной паровой конверсии метана б) Первичной паровой конверсии метана в) Паровой конверсии СО г) Метанирования оксидов углерода		б) Первичной паровой конверсии метана <b>Количество баллов:</b> дан правильный ответ – 1 балл.	
<b>8. Удельный расход или производство энергии при синтезе 1 тонны аммиака в первую очередь определяется:</b> а) Стоимостью электроэнергии; б) Базовой реакционной схемой конверсии метана; в) Расходом метана; г) Производительностью установки синтеза.		б) Базовой реакционной схемой конверсии метана; <b>Количество баллов:</b> дан ответ в – 1 балл.	
<b>9. Максимальный коэффициент теплообмена наблюдается при теплообмене:</b> а) между кипящей жидкостью и газом б) между газом и жидкостью в) между двумя жидкостями г) между кипящей жидкостью и конденсирующимся паром		г) между кипящей жидкостью и конденсирующимся паром <b>Количество баллов:</b> дан правильный ответ – 1 балл.	
<b>10. Углеводородное сырье предпочтительнее для получения водорода по сравнению с водой в связи с:</b> а) Низкой стоимостью природного газа в РФ; б) Высокой стоимостью дистиллированной воды; в) Более высоким качеством получаемого водорода;		г) Меньшей энергией связи водорода <b>Количество баллов:</b> дан правильный ответ – 1 балл.	

г) Меньшей энергией связи водорода.	
<p><b>11. Отдувка (сброс части циркулирующего потока) в цикле синтеза аммиака необходима для предотвращения:</b></p> <p>а) Возникновения взрывоопасных условий в реакторе синтеза аммиака;</p> <p>б) Перегрева реактора синтеза аммиака;</p> <p>в) Накопления аргона и метана в потоке;</p> <p>г) Конденсации водяного пара.</p>	<p>в) Накопления аргона и метана в потоке;</p> <p><b>Количество баллов:</b> дан правильный ответ в – 1 балл.</p>
<p><b>12. Для предотвращения разрушения трубопроводов при резких изменениях температуры используют:</b></p> <p>а) Тепловую «рубашку»;</p> <p>б) Теплообменник «труба-в-трубе»;</p> <p>в) Термостойкие материалы;</p> <p>г) Тепловые компенсаторы.</p>	<p>г) Тепловые компенсаторы</p> <p><b>Количество баллов:</b> дан правильный ответ г – 1 балл.</p>
<p><b>13. Какие факторы необходимо учитывать при построении химико-технологической схемы процесса:</b></p> <p>а) реальный состав исходного сырья</p> <p>б) требования к качеству продуктов</p> <p>в) доступность и стоимость энергоресурсов</p> <p>г) экологические требования</p>	<p>Все перечисленные ответы</p> <p><b>Количество баллов:</b> За ответ а,б,в,г – 1 балл.</p>
<p><b>14. Выбор оптимальной технологической схемы осуществляется на основе критерия, отражающего:</b></p> <p>а) эксплуатационные затраты на функционирование производства</p> <p>б) капитальные затраты на создание производства</p> <p>в) себестоимость единицы продукции</p> <p>г) разность между стоимостью продукции и расходов на ее производство с учетом удельных капитальных затрат</p>	<p>г) разность между стоимостью продукции и расходов на ее производство с учетом удельных капитальных затрат</p> <p><b>Количество баллов:</b> дан правильный ответ – 1 балл.</p>
<b>5. Открытые вопросы со свободным кратким ответом</b>	
<p><b>15. Оптимальным процессом для разделения жидкостей с близкой температурой кипения и низкой термической стабильностью является</b></p> <p>_____</p>	<p>Процесс экстракции</p> <p><b>Количество баллов:</b> дан правильный ответ – 1 балл.</p>
<p><b>16. Оптимальным типом насоса для транспорта небольших количеств жидкостей и эмульсий при необходимости точного управления их расходом является</b></p> <p>_____</p>	<p>Перистальтический насос</p> <p><b>Количество баллов:</b> дан правильный ответ – 1 балл.</p>
<p><b>17. Оптимальным процессом для удаления сернистых соединений из</b></p>	<p>Процесс хемосорбции сероводорода на цинк-оксидных поглотителях</p>

<p>одорированного природного газа в схеме синтеза аммиака является</p>	<p><b>Количество баллов:</b> дан правильный ответ – 1 балл.</p>
<p><b>6. Вопросы открытого типа с заданными ограничениями</b></p>	
<p><b>18. Приведите сравнительную характеристику процессов абсорбции и адсорбции в применении к процессам очистки газов от газообразных примесей.</b></p>	<p>Приведено описание и сравнительный анализ процессов абсорбции и адсорбции в применении к процессам очистки газов от газообразных примесей. <b>Критерии оценки</b> 1) дано общее описание процессов адсорбции и абсорбции – <b>1 балл</b> 2) обсуждены вопросы организации регенерации сорбентов – <b>1 балл</b> 3) представлены технологические схемы процессов – <b>1 балл</b> <b>Максимум – 3 балла</b></p>
<p><b>19. Какой тип теплообмена (рекуперативный или регенеративный) оптимален для теплообмена между двумя газами и неоптимален для систем с конденсирующимся паром или кипящими жидкостями? Почему?</b></p>	<p>Приведено указание на то, что для теплообмена газ-газ оптимален регенеративный тип теплообмена. <b>В аргументах приведено указание на</b> 1) сравнительные величин удельных тепловых потоков в рассматриваемых системах – <b>1 балл</b> 2) сравнительные значения коэффициентов теплообмена в рассматриваемых случаях – <b>1 балл</b> 3) теплоемкость теплообменного материала – <b>0.5 балла</b> <b>Максимум – 2.5 балла</b></p>
<p><b>20. Зачем в процессе синтеза аммиака нужно 2 реактора для паровой конверсии CO?</b></p>	<p>Дано объяснение требуемой двухстадийной схеме. <b>В аргументах приведено указание на</b> 1) обратимый и экзотермический характер реакции – <b>1 балл</b> 2) невозможность снижения температуры из ограничений по активности катализатора – <b>1 балл</b> <b>Максимум – 2 балла</b></p>

**Примерный вариант тестового задания № 2**

№	Образовательный результат	Тип и вид тестового задания
1	Умеет определять набор необходимых операций производства дисперсий и концентратов на основе одномерных углеродных нанoadдитивов, нанокomпозитов и последовательность их выполнений.	Вопросы 1, 2, 3 закрытого типа. Открытые вопросы со свободным кратким ответом 16. Вопросы открытого типа с заданными ограничениями 18.
2	Знает конструктивные особенности, номинальные режимы работы, особенности применения аппаратов химических технологий	Вопросы 1, 2, 3 закрытого типа. Открытые вопросы со свободным кратким ответом 15.

		Вопросы открытого типа с заданными ограничениями 19.
3	Умеет строить маршрутные карты технологических процессов получения дисперсий и концентратов на основе одномерных углеродных нанoadдитивов и нанокomпозитов на их основе.	Вопросы 7, 13 закрытого типа.
4	Знает принципы построения схем и маршрутных карт химико-технологических процессов, формы и правила оформления схем и маршрутных карт в соответствии с ГОСТ 3.1118-82, принципы построения материального и энергетического баланса технологических схем, уравнения материального и энергетического баланса технологических схем, методы расчета основных расходных показателей процессов.	Вопрос 11 закрытого типа. Открытый вопрос со свободным кратким ответом 17.
5	Умеет рассчитывать материальный расход и объем энергопотребления производств углеродных нановолокон и нанотрубок.	Закрытые вопросы 8, 10.
6	Знает методы оптимизации химико-технологических процессов (сегментов процесса), требования к описанию и представлению результатов расчета и анализа химических реакторов, теплообменных аппаратов и насосного оборудования.	Закрытый вопрос 14.
7	Умеет проводить расчет и параметрический анализ химических реакторов, теплообменных аппаратов, трубопроводов и насосного оборудования, с помощью программного обеспечения Aspen Plus	Закрытый вопрос 15. Вопрос открытого типа с заданными ограничениями 20.
8	Знает интерфейс и возможности программного обеспечения Aspen Plus, методику расчета химических реакторов, теплообменных аппаратов и насосного оборудования в операционной среде Aspen Plus.	Вопрос 6 на установление соответствия

### Перечень задач и вопросов на контрольных работах

**Задача 1.** В реактор дожига токсичных органических примесей, в который загружено 2.5 м3 катализатора, поступает для очистки 18000 м3 (при нормальных условиях) отходящих газов в час. При температуре отходящих газов на входе в реактор 250°C степень превращения примесей составляет 55%, после повышения этой температуры до 300°C степень превращения увеличивается до 85%. Известно, что реакция дожига в условиях процесса протекает в кинетической области, причем кинетика реакции описывается уравнением первого порядка по окисляемым примесям, а режим работы реактора близок к идеальному вытеснению. В связи с низким исходным содержанием примесей в очищаемых газах адиабатический разогрев реакции глубокого окисления примесей незначителен, так что реакционный объем может считаться изотермичным. Для повышения эффективности очистки на производстве планируется повысить температуру газов на входе в реактор до 325°C, а также увеличить загрузку катализатора до 3.5 м3. Какая степень очистки газов будет достигнута после реализации этих мер?

**Задача 2.** В одноходовом кожухотрубном рекуперативном теплообменнике производят охлаждение воздуха водой, температура воды на входе в аппарат - 20°C, воздуха - 80°C. Требуемая температура воздуха на выходе из теплообменника – 40°C. Расход воздуха 2000 норм.м<sup>3</sup>/час, воды – 650 кг/час. Потоки подаются противотоком. Рассчитать температуры воды на выходе из теплообменника и требуемую поверхность теплообмена. Коэффициент теплообмена принять равным 20 Вт/м<sup>2</sup>/°К. Теплоемкость воздуха принять равной 1.2 Дж/норм.м<sup>3</sup>/°К, воды – 4183 Дж/кг/°К. Теплопотери в окружающую среду пренебречь.

**Задача 3.** В проточно-циркуляционном реакторе осуществляют реакцию окисления СО в воздухе на палладиевом катализаторе. По литературным данным, скорость этой реакции описывается уравнением

$$W = \frac{k_1 C}{(1 + k_2 C)^2} \quad (1/\text{сек}),$$

где С – концентрация СО, измеряемая в мольных долях.

При температуре эксперимента  $k_1 = 90$  1/сек,  $k_2 = 10^5$ . Объем слоя катализатора в реакторе 0.6 мл, расход исходной газовой смеси 90 мл/мин. Концентрация СО в исходной газовой смеси составляет 100 ppm.

Эксперименты независимо друг от друга проводят три студента НГУ. По итогам экспериментов, первый студент сообщил, что измеренная им степень превращения СО составляет 50%, второй утверждает, что у него она равна 80%, у третьего получилась величина 90%. Они обратились за помощью к знакомому британскому ученому, чтобы тот объяснил эти данные, на что британский ученый ответил, что три разных результата при одних и тех же условиях быть не может и что нужно искать неполадки в экспериментальной установке и переделывать эксперименты.

Кто из них прав, кто ошибается и почему?

### Список вопросов, выносимых на экзамен

1. Ректификация. Назначение. Принцип действия. Классификация процессов ректификации и типов ректификационных колонн. Схемы ректификации многокомпонентных смесей. Разделение азеотропных смесей. Методы расчета и оптимизации ректификационных колонн.

2. Абсорбция. Назначение и области применения. Принцип действия. Классификация процессов абсорбции и типов абсорбционных колонн. Технологические схемы процессов абсорбции и конструкции промышленных абсорберов.

3. Экстракция. Назначение и области применения. Принцип действия. Технологические схемы процессов экстракции и конструкции промышленных экстракторов.

4. Адсорбция. Назначение и области применения. Принцип действия. Технологические схемы процессов адсорбции и конструкции промышленных адсорберов. Различные способы регенерации адсорбентов.

5. Теплообменные процессы. Назначение и области применения. Типы теплообменных процессов, конструкции промышленных рекуперативных и регенеративных теплообменников.

6. Насосы и компрессоры. Трубопроводный транспорт. Гидравлическое сопротивление трубопроводов. Методы расчета насосов и компрессоров.

7. Классификация химических и каталитических реакторов. Реактора с неподвижными, кипящими и движущимися слоями катализатора. Основные типы гранулированных и структурированных катализаторов.

8. Синтез аммиака. Химизм процесса. Сырье для промышленного производства аммиака. Основные технологические стадии процесса синтеза аммиака.

9. Производство элементарной серы. Сырье для производства серы, основные сферы использования. Процесс Клауса. Химизм, технологическая схема процесса, условия осуществления.

10. Производство серной кислоты. Сырье для производства, сферы потребления. Основные стадии процесса производства серной кислоты. Технология каталитического окисления диоксида



серы: условия осуществления, катализаторы. Способы управления тепловыми режимами в реакторах. Процессы одинарного и двойного контактирования.

11. Современные каталитические процессы для охраны окружающей среды в промышленности, энергетике и транспорте. Процессы и катализаторы очистки газовых выбросов от CO, углеводородов и летучих органических примесей.

12. Современные каталитические процессы для охраны окружающей среды в промышленности, энергетике и транспорте. Процессы и катализаторы очистки газовых выбросов в тепло- и электроэнергетике.

13. Современные каталитические процессы для охраны окружающей среды в промышленности, энергетике и транспорте. Процессы и катализаторы очистки газовых выхлопов в автотранспорте. Перспективные концепции автомобилей с пониженным уровнем выбросов.

14. Принципы масштабирования химических аппаратов, межмасштабный перенос информации при их разработке. Виды математических моделей химических аппаратов. Упрощенные модели – виды и области применимости. Эмпирические и содержательные модели. Стратифицированные содержательные модели.

15. Построение математической модели химического реактора в части материального баланса. Возможные упрощения модели. Идеализированные типы описания реакторов: идеальное смешение, идеальное вытеснение, статический реактор.

16. Построение математической модели химического реактора в части энергетического баланса. Возможные упрощения модели.

17. Кинетика химических реакций. Основные типы кинетических моделей. Основные принципы проведения кинетических экспериментов. Типы лабораторных реакторов для кинетических экспериментов. Обработка экспериментальных данных, принципы построения и выбора оптимальных кинетических моделей.

18. Перенос массы и энергии в химических процессах. Наблюдаемая скорость реакции в диффузионной области. Внешний и внутренний перенос тепла и массы. Коэффициенты тепло- и массообмена. Критериальные уравнения для их расчета. Зависимость значений коэффициентов внешнего обмена от значений параметров процесса (размер прохода, скорости потока и пр.).

19. Методы расчета и оптимизации рекуперативных теплообменников. Среднелогарифмическая разница температур. Расчет коэффициента теплообмена, типичные значения коэффициентов теплообмена в трубчатых теплообменниках для различных сред.

20. Методы расчета и оптимизации регенеративных теплообменников. Расчет коэффициента теплообмена, типичные значения коэффициентов теплообмена в регенераторах тепла для различных сред.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины  
«Основы моделирования и расчета химического и теплообменного  
оборудования»  
по направлению подготовки 03.04.02 Физика  
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного