

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский  
технологический университет»  
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

Д.Ш. Султанова

«07» июня 2021 г.



Рабочая программа дисциплины в виде электронного документа выгружена из информационной системы управления университетом и соответствует оригиналу  
Простая электронная подпись, ID подписи: 1060  
Подписал Проректор по учебной работе Д.Ш. Султанова  
Дата 07.06.2021

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине «**МЕТОДЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ**»

Специальность:	15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов
Специализация:	Проектирование технологических комплексов химических и нефтехимических производств
Квалификация выпускника:	Инженер
Форма обучения:	Очная
Институт:	Институт химического и нефтяного машиностроения
Факультет:	Механический факультет
Кафедра-разработчик:	Кафедра «Процессов и аппаратов химической технологии»
Курс; семестр	3; 5, 6

Вид нагрузки	Часы	Зачётные единицы
Лекция	36	1
Практическое занятие	72	2
Контроль самостоятельной работы	72	2
Самостоятельная работа	108	3
Форма аттестации: Дифференцированный зачет (5 сем), Экзамен (6 сем)	36	1
Всего	324	9

Рабочая программа составлена с учётом требований Федерального государственного образовательного стандарта (приказ № 1343 от 28.10.2016) по специальности 15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов для специализации «Проектирование технологических комплексов химических и нефтехимических производств» на основании учебных планов набора обучающихся 2021 года.

Разработчик программы:

Доцент

К.А. Алексеев

Доцент

Л.Р. Минибаева

## **СОГЛАСОВАНО**

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Процессов и аппаратов химической технологии», протокол от 13.05.2021 г. № 8.

Заведующий кафедрой *Согласовано* А.В. Клинов

## **УТВЕРЖДЕНО**

Начальник центра УМЦ

*Утверждаю*

Л.А. Китаева

### **1. Цели освоения дисциплины**

Целями освоения дисциплины «Методы вычислительной гидродинамики» являются:

- а) способность корректно ставить задачи в комплексе вычислительной гидрогазо-динамики ANSYS FLUENT;
- б) приобретение навыков проведения вычислительного эксперимента с помощью современных CFD-программ для расчета процессов тепломассообмена и гидродинамики;
- в) способность решать практические задачи проектирования элементов оборудо-вания химической технологии;
- г) способность правильно выбирать методы решения поставленных задач, мате-матических моделей аппаратов химической технологии при решении задач исследования и проектирования химико-технологических процессов;
- д) способность правильно интерпретировать результаты вычислительного эксперимента.

### **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Методы вычислительной гидродинамики» относится к вариативной части ООП и формирует у обучающихся по специализации «Проектирование технологических комплексов химических и нефтехимических производств» набор знаний, умений, навыков и компетенций.

Для успешного освоения дисциплины «Методы вычислительной гидродинамики» обучающийся по специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов» должен освоить материал предшествующих дисциплин:

1. Высшая математика
2. Информационные технологии
3. Теоретические основы процессов и аппаратов химической технологии
4. Физика
5. Химия
6. Явления переноса

Дисциплина «Методы вычислительной гидродинамики» является предшествующей и необходима для успешного освоения последующих дисциплин:

1. Компьютерное проектирование оборудования химических и нефтехимических производств
2. Моделирование и оптимизация технологических комплексов
3. Системы моделирования химико-технологических процессов

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

**ПК-12** способностью обеспечивать моделирование машин, электроприводов, гидроприводов, средств гидропневмоавтоматики, систем, различных комплексов, процессов, оборудования и технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов

**ПК-14** способностью применять стандартные методы расчета при проектировании машин, электроприводов, гидроприводов, средств гидропневмоавтоматики, систем, различных комплексов, процессов, оборудования и производственных объектов, деталей и узлов машиностроения

**ПК-15** способностью принимать участие в работах по расчету и проектированию машин, электроприводов, гидроприводов, средств гидропневмоавтоматики, систем, различных комплексов, процессов, оборудования и производственных объектов, деталей и узлов машиностроительных конструкций в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

**Знать:**

- методы численного решения систем уравнений.
- терминологию в области вычислительного эксперимента.
- численные методы расчета вариантов разработки и построения адекватных математических моделей на основе вычислительного эксперимента при проектировании оборудования гидродинамических и тепломассообменных процессов химической технологии, с учётом особенностей протекающих в них физических процессов.
- роль научной информации в развитии науки, вести поисковую работу с привлечением современных компьютерных и информационных технологий.
- современные научно-технические проблемы применения комплексов вычислительной гидродинамики ( CFD-комплексов ).
- этапы решения задач с привлечением CFD-комплексов.
- возможности комплексов вычислительной гидродинамики для решения задач гидрогазодинамики и тепломассообмена.

**Уметь:**

- анализировать полученные результаты решения поставленных задач и представлять их в графическом и текстовом виде.
- корректно настраивать решатель для решения поставленной задачи (выбирать корректные методы, адекватные модели и др.).
- строить модели исследуемого или проектируемого аппарата средствами сеточного генератора.
- корректно ставить задачи в программном комплексе вычислительной гидродинамики ANSYS FLUENT.

**Владеть:**

- навыками анализа полученных результатов с точки зрения адекватности рассматриваемому

технологическому процессу и применения полученной информации для проектирования оборудования гидродинамических и теплообменных процессов химической технологии.

- навыками использования современных вычислительных комплексов и численных методов моделирования химико-технологических процессов.
- навыками настройки и использования стандартных математических моделей заложенных в программный комплекс вычислительной гидродинамики ANSYS FLUENT.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц, 324 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы (в часах)					Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестации
			Лекция	Практические занятия	Лабораторные	КСР	СРС	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Основы методов вычислительной гидродинамики	5	2			2	2	Практические занятия
2.	Методы численного решения систем уравнений	5	2			2	2	
3.	Сеточные генераторы	5	6	24		12	26	
4.	Основы решения и постпроцессинга в ANSYS FLUENT	5	4	6		8	8	
5.	Моделирование турбулентных течений	5	4	6		12	16	
	<b>Итого по семестру</b>	<b>5</b>	<b>18</b>	<b>36</b>		<b>36</b>	<b>54</b>	<b>Дифференцированный зачет</b>
1.	Моделирование течений с множествами систем отсчета	6	4	6		6	6	Практические занятия
2.	Моделирование процессов теплообмена	6	4	6		4	6	
3.	Моделирование многофазных течений	6	8	20		20	35	
4.	Пользовательские функции	6	2	4		6	7	Практические занятия; Экзамен
	<b>Итого по семестру</b>	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>36</b>		<b>36</b>	<b>54</b>	<b>Экзамен</b>

#### 5. Содержание лекционных занятий по темам

№ п/п	Раздел дисциплины	Часы	Тема лекционного занятия	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5
1.	Основы методов вычислительной гидродинамики	2	Основы методов вычислительной гидродинамики	ПК-12 ПК-14 ПК-15
2.	Методы численного решения систем уравнений	2	Методы численного решения систем дифференциальных уравнений	ПК-12 ПК-14 ПК-15

№ п/п	Раздел дисциплины	Часы	Тема лекционного занятия	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5
3.	Сеточные генераторы	6	Сеточные генераторы	ПК-12 ПК-14 ПК-15
4.	Основы решения и постпроцессинга в ANSYS FLUENT	4	Основы решения и пост-процессинга в ANSYS FLUENT	ПК-12 ПК-14 ПК-15
5.	Моделирование турбулентных течений	4	Моделирование турбулентных течений	ПК-12 ПК-14 ПК-15
6.	Моделирование течений с множествами систем отсчета	2	Моделирование течений с одиночной вращающейся системой отсчета	ПК-12 ПК-14 ПК-15
7.		2	Моделирование течений с множеством систем отсчета	ПК-12 ПК-14 ПК-15
8.	Моделирование процессов теплообмена	2	Моделирование конвективного и кондуктивного теплообмена	ПК-12 ПК-14 ПК-15
9.		2	Моделирование теплообменных аппаратов	ПК-12 ПК-14 ПК-15
10.	Моделирование многофазных течений	2	Модель дискретной фазы	ПК-12 ПК-14 ПК-15
11.		2	Модель смеси и модель Эйлера	ПК-12 ПК-14 ПК-15
12.		2	VOF модель	ПК-12 ПК-14 ПК-15
13.		2	Моделирование течений с химическими реакциями	ПК-12 ПК-14 ПК-15
14.	Пользовательские функции	2	Пользовательские функции (UDF)	ПК-12 ПК-14 ПК-15
	<b>ВСЕГО</b>	<b>36</b>		

## 6. Содержание практических/семинарских занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Часы	Тема занятия	Формируемые компетенции
1	2	3	4	6
1.	Сеточные генераторы	24	Сеточные генераторы	ПК-12 ПК-14 ПК-15
2.	Основы решения и постпроцессинга в ANSYS FLUENT	6	Основы работы в ANSYS FLUENT	ПК-12 ПК-14 ПК-15
3.	Моделирование турбулентных течений	6	Моделирование турбулентных течений в цилиндрических трубах с различными местными сопротивлениями	ПК-12 ПК-14 ПК-15
4.	Моделирование течений с множествами систем отсчета	6	Моделирование течений с множествами систем отсчета	ПК-12 ПК-14 ПК-15
5.	Моделирование процессов теплообмена	6	Моделирование теплообмена в теплообменнике типа «труба в трубе»	ПК-12 ПК-14 ПК-15

№ п/п	Раздел дисциплины	Часы	Тема занятия	Формируемые компетенции
1	2	3	4	6
6.	Моделирование многофазных течений	4	Моделирование многофазных течений в колонном аппарате тарельчатого типа	ПК-12 ПК-14 ПК-15
7.		4	Моделирование разделения смеси в циклоне	ПК-12 ПК-14 ПК-15
8.		4	Использование модели смеси и Эйлера в аппаратах различной конструкции	ПК-12 ПК-14 ПК-15
9.		4	Использование VOF модели	ПК-12 ПК-14 ПК-15
10.		4	Моделирование течений с химическими реакциями	ПК-12 ПК-14 ПК-15
11.	Пользовательские функции	4	Использование пользовательских функций	ПК-12 ПК-14 ПК-15
	<b>ВСЕГО</b>	<b>72</b>		

### 7. Содержание лабораторных занятий

Проведение лабораторных занятий не предусмотрено учебным планом

### 8. Самостоятельная работа

№ п/п	Темы, выносимые на самостоятельную работу	Часы	Форма СРС	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5
1.	Основы методов вычислительной гидродинамики	2	проработка теоретического материала	ПК-12 ПК-14 ПК-15
2.	Методы численного решения систем уравнений	2	проработка теоретического материала	ПК-12 ПК-14 ПК-15
3.	Сеточные генераторы	26	подготовка к практическому занятию	ПК-12 ПК-14 ПК-15
4.	Основы решения и постпроцессинга в ANSYS FLUENT	8	подготовка к практическому занятию	ПК-12 ПК-14 ПК-15
5.	Моделирование турбулентных течений в цилиндрических трубах с различными местными сопротивлениями	16	подготовка к практическому занятию	ПК-12 ПК-14 ПК-15
6.	Моделирование течений с множествами систем отсчета	6	подготовка к практическому занятию	ПК-12 ПК-14 ПК-15
7.	Моделирование теплообмена в теплообменнике типа «труба в трубе»	6	подготовка к практическому занятию	ПК-12 ПК-14 ПК-15
8.	Моделирование многофазных течений в колонном аппарате тарельчатого типа	7	подготовка к практическому занятию	ПК-12 ПК-14 ПК-15
9.	Моделирование разделения смеси в циклоне	7	подготовка к практическому занятию	ПК-12 ПК-14 ПК-15
10.	Использование модели смеси и Эйлера в аппаратах различной конструкции	7	подготовка к практическому занятию	ПК-12 ПК-14 ПК-15

№ п/п	Темы, выносимые на самостоятельную работу	Часы	Форма СРС	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5
11.	Использование VOF модели	7	подготовка к практическому занятию	ПК-12 ПК-14 ПК-15
12.	Моделирование течений с химическими реакциями	7	подготовка к практическому занятию	ПК-12 ПК-14 ПК-15
13.	Пользовательские функции	7	подготовка к практическому занятию	ПК-12 ПК-14 ПК-15
<b>ВСЕГО</b>		<b>108</b>		

### 8.1. Контроль самостоятельной работы

№ п/п	Темы, выносимые на самостоятельную работу	Часы	Форма КСР	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5
1.	Основы методов вычислительной гидродинамики	2	консультирование	ПК-12 ПК-14 ПК-15
2.	Методы численного решения систем уравнений	2	консультирование	ПК-12 ПК-14 ПК-15
3.	Сеточные генераторы	12	прием отчетов, проверка знаний на практическом занятии	ПК-12 ПК-14 ПК-15
4.	Основы решения и постпроцессинга в ANSYS FLUENT	8	прием отчетов, проверка знаний на практическом занятии	ПК-12 ПК-14 ПК-15
5.	Моделирование турбулентных течений в цилиндрических трубах с различными местными сопротивлениями	12	прием отчетов, проверка знаний на практическом занятии	ПК-12 ПК-14 ПК-15
6.	Моделирование течений с множествами систем отсчета	6	прием отчетов, проверка знаний на практическом занятии	ПК-12 ПК-14 ПК-15
7.	Моделирование теплообмена в теплообменнике типа «труба в трубе»	4	прием отчетов, проверка знаний на практическом занятии	ПК-12 ПК-14 ПК-15
8.	Моделирование многофазных течений в колонном аппарате тарельчатого типа	4	прием отчетов, проверка знаний на практическом занятии	ПК-12 ПК-14 ПК-15
9.	Моделирование разделения смеси в циклоне	4	прием отчетов, проверка знаний на практическом занятии	ПК-12 ПК-14 ПК-15
10.	Использование модели смеси и Эйлера в аппаратах различной конструкции	4	прием отчетов, проверка знаний на практическом занятии	ПК-12 ПК-14 ПК-15
11.	Использование VOF модели	4	прием отчетов, проверка знаний на практическом занятии	ПК-12 ПК-14 ПК-15
12.	Моделирование течений с химическими реакциями	4	прием отчетов, проверка знаний на практическом занятии	ПК-12 ПК-14 ПК-15
13.	Пользовательские функции	6	прием отчетов, проверка знаний на практическом занятии	ПК-12 ПК-14 ПК-15
<b>ВСЕГО</b>		<b>72</b>		

### 9. Использование рейтинговой системы оценки знаний

При оценке результатов деятельности обучающихся в рамках дисциплины «Методы вычислительной гидродинамики» используется рейтинговая система. 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» ФГБОУ ВО КНИТУ.

Рейтинговая оценка формируется на основании текущего и промежуточного контроля. За контрольные точки студент может получить минимальное и максимальное количество баллов (см. таблицу).

Оценочные средства	Кол-во	Мин.баллов	Макс.баллов
<b>5-й семестр</b>			
Практические занятия	5	60	100
<b>Итого</b>		<b>60</b>	<b>100</b>
<b>6-й семестр</b>			
Практические занятия	8	36	60
Экзамен	1	24	40
<b>Итого</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

## 10. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации и итоговой аттестации разрабатываются согласно положению о Фондах оценочных средств, рассматриваются как составная часть рабочей программы и оформляются отдельным документом.

## 11. Информационно-методическое обеспечение дисциплины

### 11.1. Основная литература

При изучении дисциплины «Методы вычислительной гидродинамики» в качестве основных источников информации рекомендуется использовать следующую литературу:

Основные источники информации	Количество экземпляров
С. А. Вальгер, М. Н. Данилов, Ю. В. Захарова [и др.], Основы работы в ANSYS 17 [Электронный ресурс] : Москва : ДМК Пресс, 2017	<a href="https://e.lanbook.com/book/90112">https://e.lanbook.com/book/90112</a> Режим доступа: по подписке КНИТУ
К. А. Басов, Графический интерфейс комплекса ANSYS [Электронный ресурс] : Саратов : Профобразование, 2017	<a href="http://www.iprbookshop.ru/63587.html">http://www.iprbookshop.ru/63587.html</a> Режим доступа: по подписке КНИТУ
У. . Пирумов, Численные методы [Учебник] учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. подготовки дипломирован. спец. "Прикладная математика": М. : Дрофа, 2004	181 экз. УНИЦ ФГБОУ ВО «КНИТУ»

### 11.2. Дополнительная литература

В качестве дополнительных источников информации рекомендуется использовать следующую литературу:

Дополнительные источники информации	Количество экземпляров
Л. . Еременко, Работа с программным комплексом ANSYS [Учебник] учеб. пособие: Ростов-на-Дону : , 2012	1 экз. УНИЦ ФГБОУ ВО «КНИТУ»
И.Н. Пергун, А.Г. Янишевская, Использование программного комплекса ANSYS при расчетах тепловых процессов в машиностроении [Прочее] учеб. пособие: Омск : , 2001	2 экз. УНИЦ ФГБОУ ВО «КНИТУ»
А.И. Разинов, А.В. Клинов, Г.С. Дьяконов, Процессы и аппараты	276 экз. УНИЦ ФГБОУ ВО «КНИТУ»

химической технологии [Учебник] учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. "Хим. технология": Казань : Изд-во КНИТУ, 2017	
А. И. Разинов, Г. С. Дьяконов, А. В. Клинов, Процессы и аппараты химической технологии [Электронный ресурс] учебное пособие: Казань : Изд-во КНИТУ, 2017	<a href="http://ft.kstu.ru/ft/Razinov-Protcessy_i_apparaty_khimicheskoy_tekhnologii.pdf">http://ft.kstu.ru/ft/Razinov-Protcessy_i_apparaty_khimicheskoy_tekhnologii.pdf</a> Доступ с IP адресов КНИТУ
П. Роуч, Вычислительная гидродинамика [Прочее] : М. : Мир, 1980	3 экз. УНИЦ ФГБОУ ВО «КНИТУ»
А.Г. Мухаметзянова, Л.Р. Минибаева, А.В. Клинов, Расчет аппаратов с перемешивающими устройствами методами вычислительной гидродинамики [Электронный ресурс] монография: Казань : Изд-во КНИТУ, 2014	<a href="http://ft.kstu.ru/ft/Minibaeva-raschet_apparatorov.pdf">http://ft.kstu.ru/ft/Minibaeva-raschet_apparatorov.pdf</a> Доступ с IP адресов КНИТУ
С. . Патанкар, Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах [Прочее] : М. : МЭИ, 2003	21 экз. УНИЦ ФГБОУ ВО «КНИТУ»
К. А. Басов, ANSYS: справочник пользователя [Электронный ресурс] : Москва : ДМК Пресс, 2008	<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=1335">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=1335</a> Режим доступа: по подписке КНИТУ

### 11.3. Электронные источники информации

При изучении дисциплины «Методы вычислительной гидродинамики» предусмотрено использование электронных источников информации:

1. Клуб пользователей ANSYS – <http://cae-club.ru/videos>
2. Видеоуроки CADFEM – <http://www.cadfem-cis.ru/service/video/all/>
3. Портал пользователей ANSYS – <https://support.ansys.com/portal/site/AnsysCustomerPortal>
4. Электронный каталог УНИЦ КНИТУ: Режим доступа: <http://ruslan.kstu.ru/>
5. ЭБС «Лань»: Режим доступа: <https://e.lanbook.com>
6. Образовательная платформа «Юрайт»: Режим доступа: <https://urait.ru/>
7. ЭБС «Znanium.com»: Режим доступа: <http://znanium.com/>
8. ЭБС Университетская библиотека онлайн: Режим доступа: <http://biblioclub.ru/>
9. ЭБС IPRbooks: Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>
10. ЭБС BOOK.ru : Режим доступа: <https://www.book.ru/>
11. Научная электронная библиотека <https://elibrary.ru/>

**УНИЦ**  
*Согласовано*

### 11.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Scopus Доступ свободный: [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

Web of Science Доступ свободный: [apps.webofknowledge.com](http://apps.webofknowledge.com)

Стандартная справочная база данных NIST <https://webbook.nist.gov/chemistry/>

База данных CoolProp <http://www.coolprop.org/v4/index.html>

Справочно-правовая система «ГАРАНТ» Доступ свободный: [www.garant.ru](http://www.garant.ru)

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс» Доступ свободный: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)

## **12. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лицензированное программное обеспечение и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое в учебном процессе при освоении дисциплины «Методы вычислительной гидродинамики»:

Офисные и деловые программы: ABBYY FineReader 9.0 проф;

Офисные и деловые программы: MS Office 2007 Russian;

Офисные и деловые программы: MS Office 2007 Professional Russian;

Офисные и деловые программы: MS Office 2010-2016 Standard

Архиватор 7 Zip

Блокнот Notepad

Яндекс Браузер

Научное ПО: Mathcad Education

Научное ПО: Ansys Fluids (Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulation)

Научное ПО: MATLAB Academic (в комплекте с Simulink Academic)

САПР: САПР CAD Assyst System

САПР: КОМПАС-3D LT v12

Лекционные занятия:

а) комплект электронных презентаций/слайдов,

б) аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук),

Практические занятия:

а) компьютерный класс с персональными компьютерами, на которых установлено необходимое программное обеспечение.

Прочее:

а) рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет,

б) рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

## **13. Образовательные технологии**

Количество часов занятий, проводимых в интерактивных формах в учебном процессе по дисциплине «Методы вычислительной гидродинамики» составляет 30 ч.

В процессе освоения дисциплины «Методы вычислительной гидродинамики» используются следующие образовательные технологии:

- работа в малых группах;
- дискуссия;
- разработка проекта (метод проектов);
- системы дистанционного обучения.