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
«30» мая 2022 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 30.05.2022

Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А
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
Кафедра-разработчик:	Кафедра «Процессов и аппаратов химической технологии»
Курс; семестр	3; 5, 6

Вид нагрузки	Часы	Зачётные единицы
Лекция	36	1
Лабораторная работа	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

Казань, 2022

Рабочая программа составлена с учётом требований Федерального государственного образовательного стандарта (приказ № 732 от 09.08.2021) 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 2022 года.

Разработчик программы:

Доцент	К.А. Алексеев
Доцент	Л.Р. Минибаева

С О Г Л А С О В А Н О

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Процессов и аппаратов химической технологии», протокол от 17.05.2022 г. № 10.

Заведующий кафедрой ***Согласовано*** А.В. Клинов

У Т В Е Р Ж Д Е Н О

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 оборудования химической технологии;
г) способность правильно выбирать методы решения поставленных задач, математических 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 формируемой участниками образовательных отношений 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. Физика
4. Химия
5. 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-2 Способен принимать участие в разработке технических проектов производственных систем

ПК-2.1. Знает основы расчета и конструирования машин производственных систем

ПК-2.2. Умеет выполнять проектно-конструкторские работы в соответствии с техническим заданием и проводить расчеты основного оборудования

ПК-2.3. Владеет навыками оформления расчетов и пояснительных записок; разработки чертежей различных частей производственных систем

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 тепломассообменных 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	Семе-стр	Виды учебной работы (в часах)					Оценочные средства для проведения текущей и промежу-точной аттестации
			Лекция	Практические занятия	Лабора-торные	КСР	СРС	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Основы методов вычислительной гидродинамики	5	2			2	2	Лабораторная работа
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	

№ п/п	Раздел дисциплины	Семе-стр	Виды учебной работы (в часах)					Оценочные средства для проведения текущей и промежу-точной аттестации
			Лекция	Практические занятия	Лабора-торные	КСР	СРС	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5.	Моделирование турбулентных течений	5	4		6	12	16	
	Итого по семестру	**5**	**18**		**36**	**36**	**54**	**Дифференцированный зачет**
1.	Моделирование течений с множествами систем отсчета	6	4		6	6	6	Лабораторная работа
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	
	Итого по семестру	**6**	**18**		**36**	**36**	**54**	**Экзамен**

5. Содержание лекционных занятий по темам

№ п/п	Раздел дисциплины	Часы	Тема лекционного занятия	Индикаторы достижения компетенции
1	2	3	4	5
1.	Основы методов вычислительной гидродинамики	2	Основы методов вычислительной гидродинамики	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
2.	Методы численного решения систем уравнений	2	Методы численного решения систем дифференциальных уравнений	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
3.	Сеточные генераторы	6	Сеточные генераторы	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
4.	Основы решения и постпроцессинга в ANSYS FLUENT	4	Основы решения и пост-процессинга в ANSYS FLUENT	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
5.	Моделирование турбулентных течений	4	Моделирование турбулентных течений	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
6.	Моделирование течений с множествами систем отсчета	2	Моделирование течений с одиночной вращающейся системой отсчета	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
7.		2	Моделирование течений с множеством систем отсчета	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
8.	Моделирование процессов теплообмена	2	Моделирование конвективного и кондуктивного теплообмена	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
9.		2	Моделирование теплообменных аппаратов	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
10.	Моделирование многофазных течений	2	Модель дискретной фазы	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
11.		2	Модель смеси и модель Эйлера	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3

№ п/п	Раздел дисциплины	Часы	Тема лекционного занятия	Индикаторы достижения компетенции
1	2	3	4	5
12.		2	VOF модель	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
13.		2	Моделирование течений с химическими реакциями	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
14.	Пользовательские функции	2	Пользовательские функции (UDF)	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
	ВСЕГО	**36**		

6. Содержание практических/семинарских занятий

Проведение практических/семинарских занятий не предусмотрено учебным планом

7. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Часы	Тема занятия	Индикаторы достижения компетенции
1	2	3	4	6
1.	Сеточные генераторы	24	Сеточные генераторы	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
2.	Основы решения и постпроцессинга в ANSYS FLUENT	6	Основы работы в ANSYS FLUENT	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
3.	Моделирование турбулентных течений	6	Моделирование турбулентных течений в цилиндрических трубах с различными местными сопротивлениями	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
4.	Моделирование течений с множествами систем отсчета	6	Моделирование течений с множествами систем отсчета	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
5.	Моделирование процессов теплообмена	6	Моделирование теплообмена в теплообменнике типа «труба в трубе»	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
6.	Моделирование многофазных течений	4	Моделирование многофазных течений в колонном аппарате тарельчатого типа	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
7.		4	Моделирование разделения смеси в циклоне	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
8.		4	Использование модели смеси и Эйлера в аппаратах различной конструкции	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
9.		4	Использование VOF модели	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
10.		4	Моделирование течений с химическими реакциями	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
11.	Пользовательские функции	4	Использование пользовательских функций	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
	ВСЕГО	**72**		

8. Самостоятельная работа

№ п/п	Темы, выносимые на самостоятельную работу	Часы	Форма СРС	Индикаторы достижения компетенции
1	2	3	5	6
1.	Основы методов вычислительной гидродинамики	2	проработка теоретического материала	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
2.	Методы численного решения систем уравнений	2	проработка теоретического материала	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
3.	Сеточные генераторы	26	оформление отчётов, подготовка к лабораторной работе	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
4.	Основы решения и постпроцессинга в ANSYS FLUENT	8	оформление отчётов, подготовка к лабораторной работе	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
5.	Моделирование турбулентных течений в цилиндрических трубах с различными местными сопротивлениями	16	оформление отчётов, подготовка к лабораторной работе	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
6.	Моделирование течений с множествами систем отсчета	6	оформление отчётов, подготовка к лабораторной работе	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
7.	Моделирование теплообмена в теплообменнике типа «труба в трубе»	6	оформление отчётов, подготовка к лабораторной работе	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
8.	Моделирование многофазных течений в колонном аппарате тарельчатого типа	7	оформление отчётов, подготовка к лабораторной работе	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
9.	Моделирование разделения смеси в циклоне	7	оформление отчётов, подготовка к лабораторной работе	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
10.	Использование модели смеси и Эйлера в аппаратах различной конструкции	7	оформление отчётов, подготовка к лабораторной работе	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
11.	Использование VOF модели	7	оформление отчётов, подготовка к лабораторной работе	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
12.	Моделирование течений с химическими реакциями	7	оформление отчётов, подготовка к лабораторной работе	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
13.	Пользовательские функции	7	оформление отчётов, подготовка к лабораторной работе	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
	ВСЕГО	**108**		

8.1 Контроль самостоятельной работы

№ п/п	Темы, выносимые на самостоятельную работу	Часы	Форма КСР	Индикаторы достижения компетенции
1	2	3	5	6
1.	Основы методов вычислительной гидродинамики	2	консультирование	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
2.	Методы численного решения систем уравнений	2	консультирование	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
3.	Сеточные генераторы	12	прием лабораторной работы, прием отчетов	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
4.	Основы решения и постпроцессинга в ANSYS FLUENT	8	прием лабораторной работы, прием отчетов	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
5.	Моделирование турбулентных течений в цилиндрических трубах с различными местными сопротивлениями	12	прием лабораторной работы, прием отчетов	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3

№ п/п	Темы, выносимые на самостоятельную работу	Часы	Форма КСР	Индикаторы достижения компетенции
1	2	3	5	6
6.	Моделирование течений с множествами систем отсчета	6	прием лабораторной работы, прием отчетов	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
7.	Моделирование теплообмена в теплообменнике типа «труба в трубе»	4	прием лабораторной работы, прием отчетов	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
8.	Моделирование многофазных течений в колонном аппарате тарельчатого типа	4	прием лабораторной работы, прием отчетов	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
9.	Моделирование разделения смеси в циклоне	4	прием лабораторной работы, прием отчетов	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
10.	Использование модели смеси и Эйлера в аппаратах различной конструкции	4	прием лабораторной работы, прием отчетов	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
11.	Использование VOF модели	4	прием лабораторной работы, прием отчетов	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
12.	Моделирование течений с химическими реакциями	4	прием лабораторной работы, прием отчетов	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
13.	Пользовательские функции	6	прием лабораторной работы, прием отчетов	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3
	ВСЕГО	**72**		

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
5-й семестр			
Лабораторная работа	3	60	100
Итого		**60**	**100**
6-й семестр			
Лабораторная работа	8	36	60
Экзамен	1	24	40
Итого		**60**	**100**

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	https://e.lanbook.com/book/90112 Режим доступа: по подписке КНИТУ
К. А. Басов, Графический интерфейс комплекса ANSYS [Электронный ресурс] : Саратов : Профобразование, 2017	http://www.iprbookshop.ru/63587.html 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 химической технологии [Учебник] учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. "Хим. технология": Казань : Изд-во КНИТУ, 2017	276 экз. УНИЦ ФГБОУ ВО «КНИТУ»
А. И. Разинов, Г. С. Дьяконов, А. В. Клинов, Процессы и аппараты химической технологии [Электронный ресурс] учебное пособие: Казань : Изд-во КНИТУ, 2017	http://ft.kstu.ru/ft/Razinov-Protcessy_i_apparaty_khimicheskoy_tekhnologii.pdf 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	http://ft.kstu.ru/ft/Minibaeva-raschet_apparatov.pdf Доступ с IP адресов КНИТУ
С. . Патанкар, Численное решение задач теплопроводности и	21 экз. УНИЦ ФГБОУ ВО «КНИТУ»

конвективного теплообмена при течении в каналах [Прочее] : М. : МЭИ, 2003	
К. А. Басов, ANSYS: справочник пользователя [Электронный ресурс] : Москва : ДМК Пресс, 2008	http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1335 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

Wiley Online Library: https://onlinelibrary.wiley.com/
Springer Nature: https://link.springer.com/
zbMath : https://zbmath.org/
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
Справочно-правовая система «КонсультантПлюс» Доступ свободный: www.consultant.ru

12. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лицензированное программное обеспечение и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства, 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

Лекционные занятия:
а) комплект электронных презентаций/слайдов,
б) аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук),

Лабораторные 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

В процессе освоения дисциплины «Методы вычислительной гидродинамики» используются следующие образовательные технологии:
• работа в малых группах;
• дискуссия;
• разработка проекта (метод проектов);
• системы дистанционного обучения.