

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета машиностроения
и аэрокосмической техники

Ряжских В.И.

«19» июня 2018 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Расчет турбулентных потоков в трубопроводах»

Направление подготовки (специальность) 21.04.01 Нефтегазовое дело

Программа Моделирование и оптимизация рабочих процессов
в энергетических системах газонефтепроводов

Квалификация (степень) выпускника магистр

Нормативный срок обучения 2 года / 2 года 4 мес

Форма обучения очная/заочная

Автор программы д.т.н., проф.  /Кретинин А.В./

Программа обсуждена на заседании кафедры нефтегазового оборудования
и транспортировки
«15» июня 2018 года Протокол № 18

Зав. кафедрой НГОТ,
д.т.н., профессор  /Валухов С.Г./

Руководитель ОПОП,
д.т.н., профессор  /Валухов С.Г./

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

формирование компетенций, необходимых для использования различных моделей турбулентности в математических моделях гидродинамических процессов.

1.2. Задачи освоения дисциплины

изучить модели турбулентности алгебраического и дифференциального типов;

приобрести практические навыки и умения обоснованного выбора определенной модели турбулентности в зависимости от специфики рассматриваемого течения;

владеть навыками использования различных моделей турбулентного переноса, интегрированных в среду ANSYS CFD;

уметь проводить моделирование сложного турбулентного многомерного течения и тепломассопереноса во внутренних системах с произвольной формой границы.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Расчет турбулентных потоков в трубопроводах» относится к дисциплинам вариативной части (дисциплина по выбору) блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Расчет турбулентных потоков в трубопроводах» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 - способностью оценивать перспективы и возможности использования достижений научно-технического прогресса в инновационном развитии отрасли, предлагать способы их реализации

ПК-3 - способностью планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования, критически оценивать данные и делать выводы

ПК-4 - способностью использовать профессиональные программные комплексы в области математического моделирования технологических процессов и объектов

ПК-5 - способностью проводить анализ и систематизацию научно-технической информации по теме исследования, осуществлять выбор методик и средств решения задачи, проводить патентные исследования с целью обеспечения патентной чистоты новых разработок

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	знать возможности и функционал модулей моделирования турбулентных потоков в современных программных комплексах компьютерной динамики

	жидкостей
	уметь проводить анализ целесообразности привлечения мощных высокопроизводительных программно-аппаратных средств моделирования турбулентных потоков в процессы проектирования энергетических систем газонефтепроводов
	владеть навыками автоматизации процессов компьютерно-ориентированного проектирования на базе подсистем CFD моделирования турбулентных потоков
ПК-3	знать модели турбулентности алгебраического и дифференциального типов
	уметь проводить расчет турбулентных потоков на основе алгебраических моделей турбулентности
	владеть способностями дискретизации и алгебраизации определяющих ДУЧП турбулентных потоков
ПК-4	знать модели турбулентности дифференциального типов, доступные в модуле ANSYS CFX
	уметь использовать возможности программного комплекса ANSYS CFX для расчета турбулентных потоков
	владеть управляющими командами для моделирования турбулентности в ANSYS CFX
ПК-5	знать методики аналитического и численного расчета турбулентных потоков в трубопроводах
	уметь подбирать адекватные модели турбулентности
	владеть методиками структурно-параметрического синтеза компьютерных расчетных блоков для моделирования турбулентных потоков

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Расчет турбулентных потоков в трубопроводах» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		2
Аудиторные занятия (всего)	42	42
В том числе:		
Лекции	14	14
Практические занятия (ПЗ)	28	28
Самостоятельная работа	66	66
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+

Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	108 3	108 3
--	----------	----------

заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		3
Аудиторные занятия (всего)	6	6
В том числе:		
Лекции	2	2
Практические занятия (ПЗ)	4	4
Самостоятельная работа	98	98
Контрольная работа	+	+
Часы на контроль	4	4
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	0 3	108 3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Неустойчивость ламинарных течений и возникновение турбулентности	Распределение скоростей при турбулентном течении в трубах. Модель пути перемешивания Л. Прандтля. Турбулентное течение между параллельными плоскостями (течение в плоской трубе).	4	4	10	18
2	Расчет турбулентного пограничного слоя	Расчет турбулентного пограничного слоя. Затопленные турбулентные струи.	2	4	10	16
3	Модели турбулентности	Модель турбулентно-сти Spalart-Almaras (1 уравнение). Модель k-ε (2 уравнения). Модель k-ω (2 уравнения). Модель Transition k-kl-ω (3 уравнения). Модель Transition SST (4 уравнения). Модель Reynolds Stress. Модель Scale-Adaptive Simulation. Модель Detached Eddy Simulation. Модель Large Eddy Simulation	2	4	10	16
4	Граничные условия для параметров турбулентности.	Стандартные пристеночные функции. Модификации k-ε модели (Standard, RNG, Realizable). Модификации пристеночных функций (Standard Wall Functions, Scalable Wall Functions, Non-Equilibrium Wall Functions)	2	4	12	18
5	Программные комплексы для вычислительной гидродинамики	Моделирование турбулентных течений в ANSYS CFX	2	6	12	20
6	Моделирование турбулентных течений в проточной части центробежных насосов.	Моделирование турбулентных течений в проточной части центробежных насосов. Модели турбулентности, доступные в турбо режиме ANSYS	2	6	12	20
Итого			14	28	66	108

заочная форма обучения

№	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак	СРС	Всего,
---	-------------------	--------------------	------	------	-----	--------

п/п				зан.		час
1	Неустойчивость ламинарных течений и возникновение турбулентности	Распределение скоростей при турбулентном течении в трубах. Модель пути перемешивания Л. Прандтля. Турбулентное течение между параллельными плоскостями (течение в плоской трубе).	2	-	16	18
2	Расчет турбулентного пограничного слоя	Расчет турбулентного пограничного слоя. Затопленные турбулентные струи.	-	-	16	16
3	Модели турбулентности	Модель турбулентно-сти Spalart-Almaras (1 уравнение). Модель k-ε (2 уравнения). Модель k-ω (2 уравнения). Модель Transition k-kl-ω (3 уравнения). Модель Transition SST (4 уравнения). Модель Reynolds Stress. Модель Scale-Adaptive Simulation. Модель Detached Eddy Simulation. Модель Large Eddy Simulation	-	-	16	16
4	Граничные условия для параметров турбулентности.	Стандартные пристеночные функции. Модификации k-ε модели (Standard, RNG, Realizable). Модификации пристеночных функций (Standard Wall Functions, Scalable Wall Functions, Non-Equilibrium Wall Functions)	-	-	16	16
5	Программные комплексы для вычислительной гидродинамики	Моделирование турбулентных течений в ANSYS CFX	-	2	16	18
6	Моделирование турбулентных течений в проточной части центробежных насосов.	Моделирование турбулентных течений в проточной части центробежных насосов. Модели турбулентности, доступные в турбо режиме ANSYS	-	2	18	20
Итого			2	4	98	104

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-1	знать возможности и функционал модулей моделирования турбулентных потоков в современных программных комплексах компьютерной динамики	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	жидкостей			
	уметь проводить анализ целесообразности привлечения мощных высокопроизводительных программно-аппаратных средств моделирования турбулентных потоков в процессы проектирования энергетических систем газонефтепроводов	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками автоматизации процессов компьютерно-ориентированного проектирования на базе подсистем CFD моделирования турбулентных потоков	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	знать модели турбулентности алгебраического и дифференциального типов	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь проводить расчет турбулентных потоков на основе алгебраических моделей турбулентности	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть способностями дискретизации и алгебраизации определяющих ДУЧП турбулентных потоков	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-4	знать модели турбулентности дифференциального типов, доступные в модуле ANSYS CFX	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь использовать возможности программного комплекса ANSYS CFX для расчета турбулентных потоков	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть управляющими командами для моделирования турбулентности в ANSYS CFX	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-5	знать методики аналитического и численного расчета турбулентных потоков в трубопроводах	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь подбирать адекватные модели турбулентности	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методиками структурно-параметрического синтеза компьютерных расчетных блоков для моделирования турбулентных потоков	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 2 семестре для очной формы обучения, 3 семестре для заочной формы

обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-1	знать возможности и функционал модулей моделирования турбулентных потоков в современных программных комплексах компьютерной динамики жидкостей	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь проводить анализ целесообразности привлечения мощных высокопроизводительных программно-аппаратных средств моделирования турбулентных потоков в процессы проектирования энергетических систем газонефтепроводов	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками автоматизации процессов компьютерно-ориентированного проектирования на базе подсистем CFD моделирования турбулентных потоков	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-3	знать модели турбулентности алгебраического и дифференциального типов	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь проводить расчет турбулентных потоков на основе алгебраических моделей турбулентности	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть способностями дискретизации и алгебраизации определяющих ДУЧП турбулентных потоков	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-4	знать модели турбулентности дифференциального типов, доступные в модуле ANSYS CFX	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь использовать возможности программного комплекса ANSYS CFX для расчета турбулентных потоков	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть управляющими командами для моделирования турбулентности в ANSYS CFX	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-5	знать методики аналитического и численного расчета турбулентных потоков в трубопроводах	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь подбирать адекватные модели турбулентности	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	владеть методиками структурно-параметрического синтеза компьютерных расчетных блоков для моделирования турбулентных потоков	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
--	---	--	--	------------------

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Истинная мгновенная скорость в жидкости представляется в виде суммы:

- 1) осредненной и локальной составляющих;
- 2) средневзвешенной и неустановившейся составляющих;
- 3) осредненной и пульсационной составляющих.

2. В процессе усреднения уравнений Навье-Стокса по времени, достаточно большим по сравнению с периодом пульсации, получаем уравнения:

- 1) Лапласа;
- 2) Рейнольдса;
- 3) Шредингера.

3. Полные касательные напряжения в турбулентном потоке складываются из суммы:

- 1) вязкостных и турбулентных;
- 2) ньютоновских и неньютоновских;
- 3) квазистационарных и неустановившихся.

4. Теория моделирования турбулентности Л. Прандтля основана на понятии:

- 1) турбулентного напряжения;
- 2) пути перемешивания;
- 3) Лагранжевой скорости.

5. Формула Кармана предназначена для нахождения:

- 1) профиля скорости в пограничном слое;
- 2) длины пути перемешивания;
- 3) динамической скорости.

6. Критическое число Рейнольдса определяет:

- 1) зону заведомо устойчивого ламинарного режима течения;
- 2) относительный размер вязкого ламинарного подслоя в погранслое;
- 3) пространственный масштаб турбулентных пульсаций.

7. Какая модель не относится к моделированию турбулентности:

- 1) k-ε модель;
- 2) k-ω модель;
- 3) VOF модель.

8. Формула Буссинеска связывает:

- 1) турбулентную вязкость и гидравлический уклон;
- 2) касательное напряжение и поперечный градиент усредненной

скорости;

3) усредненную и мгновенную скорости потока.

9. Формула Шифринсона предназначена для:

1) расчета коэффициента гидравлического сопротивления в квадратичной зоне турбулентного режима;

2) расчета турбулентной вязкости;

3) расчета местных сопротивлений в турбулентном потоке.

10. В общем случае коэффициент гидравлического сопротивления при турбулентном течении в трубопроводе является функцией:

1) температуры и напора;

2) давления и плотности;

3) критерия Рейнольдса и относительной шероховатости.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. По трубопроводу диаметром 270×10 мм перекачивается вода с расходом $150 \text{ м}^3/\text{час}$. Определить скорость воды в трубе

1) 0,85;

2) 0,56;

3) 0,92

2. По трубопроводу диаметром 270×10 мм перекачивается вода с расходом $150 \text{ м}^3/\text{час}$. Определить скорость режим движения в трубе

1) ламинарное течение;

2) развитое турбулентное течение;

3) переходный режим

3. Бензол с расходом 200 т/час и средней температуре 40°C поступает в трубный пучок одноходового кожухотрубчатого теплообменника, состоящего из 717 труб диаметром $d \times \delta = 20 \times 2$ мм. Определить скорость бензола в трубах трубного пучка.

1) 0,65;

2) 0,55;

3) 0,45

4. Бензол с расходом 200 т/час и средней температуре 40°C поступает в трубный пучок одноходового кожухотрубчатого теплообменника, состоящего из 717 труб диаметром $d \times \delta = 20 \times 2$ мм. Определить режим течения бензола в трубах трубного пучка.

1) ламинарный;

2) турбулентный;

3) переходный режим

5. На трубопроводе имеется переход с диаметра 50 мм на диаметр 100 мм (диаметры внутренние). По трубопроводу движется вода, имеющая температуру 20°C . Её скорость в узком сечении $1,5 \text{ м/с}$. Определить массовый расходы воды.

1) $2,9 \text{ кг/с}$;

2) $2,2 \text{ кг/с}$;

3) $1,7 \text{ кг/с}$

6. На трубопроводе имеется переход с диаметра 50 мм на диаметр 100 мм (диаметры внутренние). По трубопроводу движется вода, имеющая температуру 20°C. Её скорость в узком сечении 1,5 м/с. Определить скорость воды в широком сечении.

- 1) 0,375 м/с;
- 2) 0,425 м/с;
- 3) 0,255 м/с

7. На трубопроводе имеется переход с диаметра 50 мм на диаметр 100 мм (диаметры внутренние). По трубопроводу движется вода, имеющая температуру 20°C. Её скорость в узком сечении 1,5 м/с. Определить режимы течения в узком и широком сечениях.

- 1) в узком – турбулентный, в широком - турбулентный;
- 2) в узком – ламинарный, в широком - турбулентный;
- 3) в узком – турбулентный, в широком - ламинарный

8. Азот с расходом 6400 м³/час (при н.у.) подаётся в трубный пучок одноходового кожухотрубчатого теплообменника. Абсолютное давление газа 3 кГс/см². Температура на входе в трубный пучок 120°C, на выходе 30°C. Число труб в аппарате 379 шт., их диаметр 16×1.5 мм. Определить скорость азота на входе в трубный пучок.

- 1) 17,1 м/с;
- 2) 15 м/с;
- 3) 20,3 м/с

9. Азот с расходом 6400 м³/час (при н.у.) подаётся в трубный пучок одноходового кожухотрубчатого теплообменника. Абсолютное давление газа 3 кГс/см². Температура на входе в трубный пучок 120°C, на выходе 30°C. Число труб в аппарате 379 шт., их диаметр 16×1.5 мм. Определить скорость азота на выходе из трубного пучка.

- 1) 13,1 м/с;
- 2) 18,2 м/с;
- 3) 15,9 м/с

10. На какие виды разделяют действующие на жидкость внешние силы?

- а) силы инерции и поверхностного натяжения;
- б) внутренние и поверхностные;
- в) массовые и поверхностные;
- г) силы тяжести и давления.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. В трубное пространство двухходового кожухотрубчатого теплообменника с общим числом труб 718 шт. подаётся метан с расходом 25 т/час. Диаметр труб 25×2 мм. Температура метана на входе в аппарат 15°C, на выходе 200°C. Среднее давление в аппарате 6 кГс/см². Определить скорость метана на входе в трубы.

- 1) 13,8 м/с;

2) 15,2 м/с;

3) 14,9 м/с

2. В трубное пространство двухходового кожухотрубчатого теплообменника с общим числом труб 718 шт. подаётся метан с расходом 25 т/час. Диаметр труб 25×2 мм. Температура метана на входе в аппарат 15°C , на выходе 200°C . Среднее давление в аппарате 6 кгс/см^2 . Определить скорость метана на выходе из трубы.

1) 16,9 м/с;

2) 22,7 м/с;

3) 17,1 м/с

3. В трубное пространство двухходового кожухотрубчатого теплообменника с общим числом труб 718 шт. подаётся метан с расходом 25 т/час. Диаметр труб 25×2 мм. Температура метана на входе в аппарат 15°C , на выходе 200°C . Среднее давление в аппарате 6 кгс/см^2 . Определить режим течения в трубе.

1) ламинарный;

2) турбулентный;

3) переходный режим

4. Труба диаметром 200×10 мм переходит в трубу диаметром 50×5 мм, после чего поднимается вверх на 20 м. В нижнем и верхнем сечениях трубы установлены манометры. Нижний манометр показывает давление $P_1 = 5 \text{ кгс/см}^2$. По трубопроводу перекачивается вода с расходом $55 \text{ м}^3/\text{час}$ и температурой 40°C . Определить показания верхнего манометра. Наличием сил вязкости пренебречь.

1) $2,5 \text{ кгс/см}^2$

2) $3,8 \text{ кгс/см}^2$

3) $1,9 \text{ кгс/см}^2$

5. По трубопроводу длиной 15 км и диаметром 100×5 мм перекачивается бензол с расходом 10 т/час при средней температуре 200°C . Стенки трубопровода гладкие. Манометр, установленный в начале, показывает давление 5 ат. Определить показание манометра, установленного в конце трубопровода.

1) $2,5 \text{ кгс/см}^2$

2) $1,27 \text{ кгс/см}^2$

3) $1,98 \text{ кгс/см}^2$

6. Уровень жидкости в трубке Пито поднялся на высоту $H = 15$ см. Чему равна скорость жидкости в трубопроводе? а) 2,94 м/с; б) 17,2 см/с; в) 1,72 м/с; г) 8,64 м/с.

7. Каким будет число Рейнольдса, если скорость жидкости $v = 5$ м/с, внутренний диаметр трубопровода $d = 25$ мм, кинематический коэффициент вязкости жидкости $\nu = 25 \text{ сСт}$?

а) 5;

б) 500;

в) 5000;

г) 1250;

д) 12500.

8. Критическое значение числа Рейнольдса для жесткого трубопровода круглого сечения равно

а) 2320;

б) 3200;

в) 4000;

г) 4600.

9. Из резервуара через отверстие происходит истечение жидкости с турбулентным режимом. Напор $H = 38$ см, коэффициент сопротивления отверстия $\xi = 0,6$. Чему равна скорость истечения жидкости?

а) 4,62 м/с;

б) 1,69 м/с;

в) 4,4 м/с;

г) 0,34 м/с.

10. Азот с расходом $6400 \text{ м}^3/\text{час}$ (при н.у.) подаётся в трубный пучок одноходового кожухотрубчатого теплообменника. Абсолютное давление газа 3 кгс/см^2 . Температура на входе в трубный пучок 120°C , на выходе 30°C . Число труб в аппарате 379 шт., их диаметр $16 \times 1,5 \text{ мм}$. Определить режим течения на входе и на выходе из трубного пучка.

1) на входе – турбулентный, на выходе - турбулентный;

2) на входе – ламинарный, на выходе - турбулентный;

3) на входе – турбулентный, на выходе - ламинарный

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Осреднение параметров при записи уравнений Рейнольдса.

2. Турбулентные напряжения.

3. Модели турбулентности.

4. Модель Буссинеска.

5. «Новая» теория Прандтля.

6. Длина пути перемешивания.

7. Назначение, структура и функциональные возможности инструментария ANSYS CFX

8. Назначение, структура и функциональные возможности инструментария ANSYS Fluent

9. Турбулентный пограничный слой на пластине.

10. Турбулентные течения в круглых трубах.

11. Динамическая скорость турбулентного потока.

12. Вывод формул Никурадзе и Альтшуля

13. Модель турбулентности Spalart-Almaras (1 уравнение).

14. Модель k- ϵ (2 уравнения)

15. Модель k- ω (2 уравнения).

16. Модель Transition k-kl- ω (3 уравнения).

17. Модель Transition SST (4 уравнения)

18. Модель Reynolds Stress.

19. Модель Scale-Adaptive Simulation.

20. Модель Detached Eddy Simulation.

21. Модель Large Eddy Simulation

7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачёт проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов, правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 5.

Оценка «зачтено» выставляется студенту, набравшему суммарное количество баллов 3,0-5,0.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, набравшему менее 3 баллов.

При получении зачета требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Неустойчивость ламинарных течений и возникновение турбулентности	ПК-1, ПК-3, ПК-4, ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
2	Расчет турбулентного пограничного слоя	ПК-1, ПК-3, ПК-4, ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
3	Модели турбулентности	ПК-1, ПК-3, ПК-4, ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
4	Граничные условия для параметров турбулентности.	ПК-1, ПК-3, ПК-4, ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
5	Программные комплексы для вычислительной гидродинамики	ПК-1, ПК-3, ПК-4, ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
6	Моделирование турбулентных течений в проточной части центробежных насосов.	ПК-1, ПК-3, ПК-4, ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата,

			требования к курсовому проекту....
--	--	--	------------------------------------

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. А.В. Старченко, Р.Б. Нутерман, Е.А. Данилкин, Численное моделирование турбулентных течений и переноса примеси в уличных каньонах [Электронный ресурс] : учебное пособие. Томск : ТГУ, 252 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91998>

2. Ю.А. Булыгин, С.Г. Валухов, Н.В. Заварзин, А.В. Кретинин, Математическое моделирование гидродинамических процессов в элементах проточной части нефтяного оборудования. - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный техниче-ский университет", 2013. 219 с.

3. К.Н. Волков, В.Н. Емельянов, Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений [Электронный ресурс] : учебное пособие / Москва : Физматлит, 2008. — 368 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/49083>.

4. К.Н. Волков, В.Н. Емельянов, В.А. Зазимко, Турбулентные струи -- статистические модели и моделирование крупных вихрей [Электрон-ный ресурс] : монография /— Электрон. дан. — Москва : Физматлит,— 360 с. — Режим досту-па: <https://e.lanbook.com/book/59662>.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов

информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

1. Электронная информационно-образовательная среда университета
<http://eios.vorstu.ru>

2. Консультирование посредством электронной почты

3. Использование презентаций при проведении лекционных занятий

4. Приобретение знаний в процессе общения со специалистами в области математического моделирования на профильных специализированных сайтах (форумах)

5. Программное обеспечение: Лицензия ПО ANSYS (Лиц. № 1020620 ВГТУ)

6. Рекомендуемая литература в виде электронных ресурсов представлена на сайте ВГТУ (электронный каталог научно-технической библиотеки):

http://catalog.vorstu.ru/MarcWeb/Work.asp?ValueDB=41&DisplayDB=vgtu_lib

7. Электронно-библиотечная система «Лань» (доступ с компьютеров ВУ-3а) <http://e.lanbook.com>

8. Информационно-аналитическая система SCINCE INDEX
<http://elibrary.ru/>

9. Сайт компании КАДФЕМ Россия <https://www.cadfecis.ru/knowledge/video-cadfecis/cfd>

10. Международный научно-образовательный сайт EqWorld
<http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>

11. Журнал «Математическое моделирование» на Общероссийском математическом портале

http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=mm&wshow=details&option_lang=rus

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой

Проектно-конструкторский центр по договору между ОАО Турбонасос и ФГБОУ ВПО ВГТУ №132/316-13 от 29 ноября 2013 года на создание и обеспечение деятельности базовой кафедры нефтегазового оборудования и транспортировки (базовой кафедры) созданной при базовой организации (компьютеры – 15 шт, МФУ А0))

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Расчет турбулентных потоков в трубопроводах» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не

нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета турбулентных потоков в трубопроводах. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.