

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»  
Физико-технический институт



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ФТИ

 О.Ю. Долматов

«07» 02 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«ГИДРОГАЗОДИНАМИКА РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ»**  
**НА УЧЕБНЫЙ ГОД**

Направление ООП 14.04.02 «Ядерные физика и технологии»

Профиль подготовки (специализация) Изотопные технологии и материалы  
Квалификация (степень) магистр

Базовый учебный план приема 2016 г.

Курс II семестр 3

Количество кредитов 3

Код дисциплины M1.BM4.1.1

Виды учебной деятельности	Временной ресурс
Лекции, ч	16
Практические занятия, ч	16
Лабораторные занятия, ч	16
Аудиторные занятия, ч	48
Самостоятельная работа, ч	60
ИТОГО, ч	108

Вид промежуточной аттестации зачёт

Обеспечивающее подразделение кафедра «Техническая физика»

Заведующий кафедрой  И.В. Шаманин

Руководитель ООП  А.Р. Вагнер

Доцент  Д.Г. Видяев

2016 г.

## **1. Цели освоения дисциплины**

Формирование у магистрантов знаний теоретических основ гидрогазодинамики процессов разделения и умений применять их в производственно-технической и научно-исследовательской деятельности, а также приобретения навыков использования компьютерно-информационных технологии для проведения математического моделирования гидравлики разделительных установок и поиска новой информации, необходимой для самообучения и решения конкретных инженерных задач.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина относится к профессиональным дисциплинам магистерской подготовки (М1.В.4.1). Она непосредственно связана с дисциплинами базовой части (математика, физика, химия) программ подготовки бакалавров и дисциплинами направления магистерской подготовки 14.04.02 «Ядерная физика и технологии» («Спецглавы высшей математики (интегральные уравнения и решение некорректных задач)», «Ядерные энергетические технологии») и опирается на освоенные при изучении данных дисциплин знания и умения. Коррективитами для дисциплины «Гидрогазодинамика разделительных процессов» являются дисциплины вариативной части магистерской подготовки: «Газофазные методы разделения веществ», «Перспективные технологии разделения изотопов и тонкой очистки веществ».

## **3. Результаты освоения дисциплины**

В соответствии с требованиями ФГОС освоение дисциплины направлено на формирование у студентов следующих компетенций (результатов):

Р1. Демонстрировать способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, к изменению социокультурных и социальных условий деятельности; способностью самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять свое научное мировоззрение.

Р2. Способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов, в соответствии с целями магистерской подготовки; способность эксплуатировать, проводить испытания и ремонт современных физических установок.

Р3. Готовность к кооперации с коллегами и работе в коллективе, к организации работы коллективов исполнителей; способность использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, в управлении коллективом, влиять на формирование целей команды, воздействовать на ее социально-

психологический климат в нужном для достижения целей направлении, оценивать качество результатов деятельности.

Р4. Способность к созданию теоретических и математических моделей, описывающих конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие излучения с веществом, физику кинетических явлений или процессы в реакторах, ускорителях или воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды.

Р5. Способность применять экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в профессиональной области; оценить перспективы развития ядерной отрасли, использовать ее современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах.

Р6. Готовность к созданию новых методов расчета современных физических установок и устройств, разработке методов регистрации ионизирующих излучений, методов оценки количественных характеристик ядерных материалов; формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов; решать инженерно-физические и экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ.

Для указанных результатов обучения можно провести декомпозицию на составляющие: знания (З), умения (У) и владение (В) опытом, приведенные в таблице.

**Составляющие результатов обучения, которые будут получены при изучении данной дисциплины**

Результаты обучения (компетенции из ФГОС)	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
Р1 (ПК-1,2)	3.1.1	Основных методов, способов и средств получения, хранения, переработки информации.	У.1.1	Самообучаться новым методам исследований.	В.1.1	Обобщения, анализа, восприятия информации, постановки цели и выбора путей ее достижения. Использования в практической деятельности новых знаний и умений
			У.1.2	Самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий новые знания и умения.	В.1.2	
Р2 (ПК-3,18)					В.2.1	Профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов
Р3 (ПК-26)					В.3.1	Кооперации с коллегами и работы в коллективе

Р4 (ПК-4)	3.4.1	Основ создания теоретических и математических моделей, описывающих физику кинетических явлений				
Р5 (ПК-7,8)	3.5.1	Экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследований	У.5.1	Применять экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в профессиональной области	В.5.1	Использования современных достижений и передовых технологий в научно-исследовательских работах в своей предметной области
Р6 (ПК-5,13,17)	3.6.1	Методов расчета современных физических установок и устройств	У.6.1	Проводить расчеты и проектирование физических установок и решать инженерно-физические задачи с использованием информационных технологий и пакетов прикладных программ	В.6.1	Решения инженерно-физические задачи с использованием информационных технологий и пакетов прикладных программ

В результате освоения дисциплины «Гидрогазодинамика разделительных процессов» магистрантом должны быть достигнуты следующие результаты:

#### Планируемые результаты освоения дисциплины

№ п/п	Результат
РД1	Магистрант должен: знать основные способы получения и обработки новой информации, необходимой для самообучения и решения конкретных задач по гидрогазодинамике; уметь находить и использовать новую научно-техническую информацию в исследуемой области из различных ресурсов, включая интернет; владеть опытом работы и использования в ходе проведения исследований научно-технической информации, Интернет-ресурсов, баз данных, поисковых систем и др. в области гидрогазодинамики, в том числе, на иностранном языке.
РД2	Магистрант должен владеть приемами и методами практического определения ряда свойств и гидравлических характеристик взаимодействующих фаз и опытом работы с современным научно-исследовательским оборудованием.
РД3	Магистрант должен иметь опыт работы в коллективе в кооперации с коллегами.
РД4	Магистрант для создания теоретических и математических моделей, описывающих кинетические явления в газах и жидкостях должен знать специальные разделы математики, физики и химии, лежащие в основе изучаемых законов движения и анализа физических свойств жидкости и газа; основные законы движения жидкости и газа по трубам и истечения их из отверстий; виды гидравлических сопротивлений; принципы формирования установок для разделительных процессов с точки зрения гидрогазодинамики; принципы создания моделей гидравлических систем.
РД5	Магистрант должен знать и уметь применять экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований свойств жидкости и газа и параметров их потоков и владеть опытом использования при этом современных достижений и передовых технологий.
РД6	Магистрант должен: знать подходы к расчету гидравлических сопротивлений разделительных установок; последовательность расчета основных типов

<p>трубопроводов и их составных элементов; уметь проводить расчеты и проектирование с позиции гидравлики физических установок и решать инженерно-физические задачи по гидравлики жидкости и газа, в том числе с использованием информационных технологий и пакетов прикладных программ.</p>
---

#### **4. Структура и содержание дисциплины**

##### **4.1. Содержание разделов дисциплины**

### **ЧАСТЬ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТРЕХМЕРНОГО И ОДНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ И ГАЗА**

#### ***Введение***

Предмет гидрогазодинамики как теоретической дисциплины. Содержание и структура курса. Цели его преподавания и изучения. Связь с естественно-научными и специальными дисциплинами.

#### ***1. Основные понятия и определения гидрогазодинамики***

Основные физические свойства жидкостей. Ламинарное и турбулентное течение жидкости. Число Рейнольдса. Методы изучения движения жидкости.

*Лабораторная работа №1. Определение вязкости водных растворов электролитов.*

#### ***2. Трехмерное движение жидкости***

Вихревое и потенциальное движение жидкой частицы. Дифференциальные уравнения движения идеальной и вязкой жидкости (уравнения Эйлера и Навье–Стокса). Уравнение неразрывности трехмерного потока.

#### ***3. Одномерное движение жидкости***

Элементарная струйка потока. Уравнение неразрывности для элементарной струйки при установившемся движении. Неустановившееся движение идеальной жидкости под действием сил тяжести вдоль линии тока. Установившееся движение идеальной жидкости. Уравнение Бернулли. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости.

#### ***4. Одномерное движение газа***

Основные соотношения термодинамики. Скорость звука. Число Маха. Уравнение Бернулли для газа. Связь скорости газа с сечением потока. Сопло Лаваля

### **ЧАСТЬ 2. ОСНОВЫ РАСЧЕТА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НАПОРА**

#### ***5. Гидравлические потери напора при движении жидкости в трубах***

Виды гидравлических сопротивлений. Метод анализа размерностей, Пито-теорема. Определение коэффициента гидравлического трения при ламинарном и турбулентном течении жидкости.

#### ***6. Местные гидравлические сопротивления***

Потери напора, связанные с изменением сечения и направления потока. Потери напора в арматуре трубопроводов, в тройниках и крестовинах.

*Лабораторная работа №2. Изучение влияния местных гидравлических сопротивлений на потери напора.*

### ЧАСТЬ 3. ОРГАНИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ И ГАЗА В РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ

#### 7. Организация потоков жидкости и газа в разделительных процессах

Расчет трубопроводов для несжимаемой жидкости. Гидравлический удар в трубах. Расчет трубопроводов для газов. Истечение жидкости и газа через отверстия и насадки. Работа нагнетателей в трубопроводе. Гидродинамика противоточных двухфазных потоков газ(пар)-жидкость в насадочных колоннах.

*Лабораторная работа №3. Гидравлический расчет напорных трубопроводов*

#### 8. Моделирование в гидрогазодинамике

Общие принципы моделирования. Критерии динамического подобия

#### 4.2. Структура дисциплины по разделам, формам организации и контроля обучения

№	Название раздела/темы	Аудиторная работа (час)			СРС (час)	Итого	Формы текущего контроля и аттестации
		Лекции	Лабор.	Практ.			
1	Введение. Основные понятия и определения гидрогазодинамики	2	4	2	2	10	Отчет по лабораторной работе
2	Трехмерное движение жидкости	2		2	4	8	Устный отчет
3	Одномерное движение жидкости	2		2	6	10	Отчет по задачам
4	Одномерное движение газа	2		2	6	10	Коллоквиум
5	Гидравлические потери напора при движении жидкости в трубах	2	6	2	8	18	Отчет по задачам Отчет по лабораторной работе
6	Местные гидравлические сопротивления	2		2	8	12	Коллоквиум
7	Организация потоков жидкости и газа в разделительных процессах	2	6	2	8	18	Отчет по лабораторной работе
8	Моделирование в гидрогазодинамике	2		2	6	10	Отчет по задачам. Коллоквиум
9	Промежуточная аттестация				12	12	Зачет
	Итого	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>60</b>	<b>108</b>	

При сдаче отчетов и письменных работ проводится устное собеседование.

## 5. Образовательные технологии

При освоении дисциплины используются следующие сочетания видов учебной работы с методами и формами активизации познавательной деятельности магистрантов для достижения запланированных результатов обучения и формирования компетенций.

Методы и формы активизации деятельности	Виды учебной деятельности			
	ЛК	ЛБ	ПР	СРС
Дискуссия	х		х	
IT-методы	х	х		х
Командная работа		х	х	х
Опережающая СРС	х	х	х	х
Индивидуальное обучение		х		х
Проблемное обучение		х	х	х
Обучение на основе опыта		х	х	х

Для достижения поставленных целей преподавания дисциплины реализуются следующие средства, способы и организационные мероприятия:

- изучение теоретического материала дисциплины на лекциях с использованием компьютерных технологий;
- самостоятельное изучение теоретического материала дисциплины с использованием *Internet*-ресурсов, информационных баз, методических разработок, специальной учебной и научной литературы;
- закрепление теоретического материала при проведении практических занятий, выполнения проблемно-ориентированных, поисковых, творческих заданий как расчетного, так и практического плана с использованием учебного и научного оборудования и приборов.

## 6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов (СРС)

Самостоятельная работа студентов включает текущую и творческую проблемно-ориентированную самостоятельную работу.

**6.1 Текущая СРС**, направленная на углубление и закрепление знаний, а также развитие практических умений заключается в:

- работе магистрантов с лекционным материалом, поиск и анализ литературы и электронных источников информации по заданной проблеме и выбранной теме магистерской диссертации,
- выполнении домашних заданий,
- переводе материалов из тематических информационных ресурсов с иностранных языков,
- изучении тем, вынесенных на самостоятельную проработку,
- изучении теоретического материала к практическим занятиям,

– подготовке к коллоквиуму, экзамену и входному контролю по практическим занятиям.

**6.2 Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа (ТСР)**, ориентированная на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных (общекультурных) и профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала магистрантов.

ТСР может включать следующие виды работ по основным проблемам курса:

- поиск, анализ, структурирование и презентация информации,
- выполнение расчетно-графических работ;
- исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах;
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- анализ статистических и фактических материалов по заданной теме, проведение расчетов, составление схем и моделей на основе статистических материалов.

*6.2.1. Перечень научных проблем и направлений научных исследований:*

- 1) моделирование и расчет параметров трубопроводов для подачи и отвода реагентов в разделительных каскадах из обменных противоточных колонн,
- 2) моделирование и расчет параметров трубопроводов для подачи и отвода реагентов в каскадах газовых центрифуг,
- 3) моделирование потоков в насадочной колонне с целью определения ее гидравлических характеристик,
- 4) моделирование единичной газовой центрифуги с целью определения ее гидравлических характеристик.

*6.2.2. Темы, выносимые на самостоятельную проработку:*

- 1) Одномерное движение газа;
- 2) Местные гидравлические сопротивления;
- 3) Моделирование в гидрогазодинамике.

### **6.3 Контроль самостоятельной работы**

Оценка результатов самостоятельной работы организуется как единство двух форм: самоконтроль и контроль со стороны преподавателей.

### **6.4 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

1. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости). - М.: Стройиздат., 1965. – 275 с.
2. Соколов Ю.Н. Основы гидрогазодинамики.– М.: Высш. шк., 1964. – 88 с.
3. Черный Г.Г. Газовая динамика. – М.: Наука, 1988. – 424 с.
4. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. –М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.



5. Гидравлические расчеты в теплоэнергетике. Теория и задачи: Учебное пособие / А.В. Михневич, О.Л. Рыхнер, Н.Н. Михневич. – Мн.: УП «Технопринт», 2000. – 276 с.
6. Примеры расчета по гидравлике: Учебное пособие для вузов / под ред. Альтшуля А.Д. М.: Стройиздат, 1977. – 255 с.

## 7. Средства текущей и итоговой оценки качества освоения дисциплины

Оценка качества освоения студентами дисциплины производится выставлением рейтинговых баллов по результатам следующих контролирующих мероприятий:

Контролирующие мероприятия	Результаты обучения по дисциплине (баллы)
выполнение и защита лабораторных работ	20
защита индивидуальных заданий	20
коллоквиум	20
зачет	40
<b>ИТОГО</b>	<b>100</b>

Для оценки качества освоения дисциплины при проведении контролирующих мероприятий предусмотрены следующие средства (фонд оценочных средств:)

### *Вопросов текущего, промежуточного и самоконтроля:*

1. Что понимают под гидрогазодинамикой? Сформулируйте гипотезу о непрерывности жидкой среды. Дайте понятие текучести жидкости.
2. Сформулируйте понятия идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Какие силы действуют на частицу жидкости?
3. Приведите выражения для плотности, удельного объема и объемного веса жидкости.
4. Сформулируйте закон внутреннего трения Ньютона. Дайте понятие вязкости жидкости. Какие виды вязкости вы знаете? Что такое аномальная жидкость?
5. Сформулируйте основные различия ламинарного и турбулентного течения. Изобразите эпюры скоростей при указанных видах течения жидкости в трубе. Приведите выражение для числа Рейнольдса. Что это число характеризует?
6. Когда используется понятие эквивалентный диаметр?
7. Какие методы математического описания движения жидкости вы знаете? Дайте их сравнение. Назовите виды движения жидкости.
8. Сформулируйте понятие линии тока. Приведите ее свойства и уравнение.
9. Напишите теорему Геймгольца–Коши в векторном виде. Раскройте ее смысл.
10. Приведите выражение для любой осевой составляющей угловой скорости вращения жидкой частицы.
11. Сформулируйте понятия вихревого и потенциального движения жидкой частицы. Напишите выражение для потенциала скорости.
12. Приведите системы дифференциальных уравнений движения идеальной. Раскройте физический смысл членов этих уравнений.
13. Приведите системы дифференциальных уравнений движения вязкой жидкостей. Раскройте физический смысл членов этих уравнений.
14. Сформулируйте понятие расхода жидкости. Какие виды расходов Вы знаете?

15. Приведите выражение условия неразрывности трехмерного потока для сжимаемой жидкости.
16. Сформулируйте гипотезу о струйной модели движения жидкости, используемую в прикладной гидравлике. Приведите понятие и свойства элементарной струйки.
17. Напишите уравнение неразрывности для элементарной струйки при установившемся движении в различных формах.
18. Приведите уравнение для неустановившегося движения идеальной сжимаемой жидкости под действием сил тяжести вдоль линии тока.
19. Раскройте энергетический смысл величин, входящих в трехчлен Бернулли.
20. Напишите уравнение для установившегося движения идеальной несжимаемой жидкости (уравнение Бернулли). Раскройте геометрический смысл величин, входящих в это уравнение.
21. Что такое потери напора? Сформулируйте понятие гидравлического уклона.
22. Что понимают под средней скоростью движения жидкости? Раскройте физический смысл коэффициента Кориолиса. Приведите его значения для ламинарного и турбулентного течения жидкости. Напишите уравнение Бернулли для потока реальной жидкости.
23. Что понимают под уравнением состояния идеального газа? Раскройте физический смысл входящих в него величин.
24. Какие характерные процессы изменения состояния газа обычно рассматривают в термодинамике? Напишите их формульное выражение.
25. Напишите соотношения, связывающие давление, плотность и температуру при адиабатическом процессе.
26. Приведите выражения для скорости звука и числа Маха? Что это число характеризует? Какие виды течения газа Вы знаете?
27. Напишите уравнение Бернулли для газа в интегральной форме. Раскройте его физический смысл.
28. Приведите три варианта записи уравнения энергии (Бернулли) для газа. Раскройте их физический смысл.
29. Приведите выражение, отражающее связь скорости газа с сечением потока. Как влияет режим течения газа на эту взаимосвязь?
30. Опишите устройство и принцип работы сопла Лаваля. Где оно применяется?
31. Раскройте энергетический смысл потерь напора. На какие виды их подразделяют?
32. Сформулируйте ПИ–теорему. Приведите последовательность нахождения чисел ПИ.
33. Напишите функциональные зависимости для потерь напора на трение и на местные сопротивления. Приведите общий вид формул для расчета этих потерь.
34. От чего зависит коэффициент гидравлического трения? Приведите формулу для расчета данного коэффициента при ламинарном течении. Что она показывает?
35. Сформулируйте понятие гидравлически гладкой трубы. Напишите выражение для определения коэффициента гидравлического трения в данных трубах.
36. Сформулируйте понятие квадратичного режима течения. Приведите формулу для определения коэффициента гидравлического трения в этом режиме.
37. Раскройте понятия абсолютной и относительной шероховатости. Напишите формулу Альтшуля для расчета коэффициента гидравлического трения при турбулентном режиме течения.
38. Сформулируйте понятие эквивалентной длины. Приведите выражение, связывающее ее с коэффициентами сопротивлений. Какие группы местных потерь Вы знаете?
39. Раскройте понятия коэффициента сжатия струи, степени сжатия и расширения потока, конфузора и диффузора. Приведите выражение для приближенного определения степени сжатия струи.

40. Напишите формулы для расчета потерь напора при внезапном расширении и сужении потока. Как изменятся эти формулы, если расширение и сужение потока будет постепенным.
41. Чем обусловлены потери напора при изменении направления потока? Приведите формулу для определения коэффициента местного сопротивления колена.
42. Как с гидравлической точки зрения действуют краны, клапаны, дроссели? Напишите формулу для оценки местного сопротивления, вызванного стыками.
43. Сформулируйте понятие тройника. Чем отличаются приточные и вытяжные тройники и крестовины? Какие параметры влияют на величину коэффициентов местных сопротивлений тройников и крестовин?
44. Сформулируйте понятие простого и сложного трубопровода. Какие виды задач решаются при расчете простого трубопровода? Приведите пример решения одной из них.
45. Какие виды схем сложного трубопровода Вы рассмотрели? Опишите последовательности расчета одной из приведенных схем.
46. Раскройте понятие гидравлического удара. Приведите формулы для определения величины ударного давления при прямом гидравлическом ударе и скорости ударной волны в трубе с абсолютно жесткими и деформируемыми стенками.
47. В чем состоят особенности расчета трубопроводов для газов при малых и больших перепадах давления? Напишите формулу для определения весового расхода газа при больших перепадах давления при изотермическом течении.
48. Сформулируйте понятия коэффициентов скорости истечения и расхода. Приведите выражения для расчета объемного расхода жидкости и массового расхода газа при истечении их из отверстий и насадков.
49. Раскройте понятия дифференциального напора, привода и нагнетателя перекачивающих агрегатов. Напишите формулы для расчета давления развиваемого нагнетателем, мощности на валу нагнетателя и дифференциального напора.
50. Опишите устройство насадочной колонны. Приведите выражения для определения скорости движения жидкости и газа в слое насадки. Раскройте физический смысл величин, входящих в эти выражения.
51. Сформулируйте понятие предельной нагрузки. Напишите формулу для расчета предельной массовой нагрузки по газу.
52. В чем состоит назначение теории моделирования и теории подобия? Какие виды подобия должны соблюдаться между модельным и натурным объектами?
53. Сформулируйте требования динамического подобия. Раскройте понятия полного и частичного подобия.
54. Приведите выражение общего закона динамического подобия. Раскройте смысл кинематического подобия. В каком случае оно достигается?
55. Назовите основные критерии подобия гидродинамических процессов. Укажите их физический смысл.
56. Какие еще критерии подобия Вы знаете? В каких случаях они применяются?

### Задачи:

1. Для определения вязкости жидкости ( $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ ) в нее брошена стальная дробинка диаметром 0,5 мм, которая под действием силы тяжести медленно опускается вниз с постоянной скоростью 0,5 см/с. Определить динамическую и кинематическую вязкость жидкости.

*Примечание:* при решении задачи учесть, что на шар с диаметром  $d$ , медленно движущийся в вязкой несжимаемой жидкости со скоростью  $u$ , со стороны жидкости действует сила сопротивления Стокса  $F = 3\pi\mu u d$ .

2. Вода движется в трубе с диаметром 2,5 см со скоростью  $u = 0,2 \text{ м/с}$ . Определить число Рейнольдса и величину критической скорости, если температура воды равна  $40^\circ\text{C}$ .

3. Получить выражение для скорости слоистого плоскопараллельного стационарного течения жидкости в канале, ограниченном двумя параллельными плоскими стенками, если расстояние от оси канала до стенок равно  $b$ .

4. Средняя по сечению скорость  $u$  течения вязкой жидкости ( $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ ) в трубопроводе с внешним диаметром  $D = 1020 \text{ мм}$  и толщиной стенки  $\delta = 10 \text{ мм}$ , равна  $1,0 \text{ м/с}$ . Определить массовый расход трубопровода за год.

*Примечание:* Число рабочих дней принять равным 350.

5. Трубопровод состоит из двух последовательно соединенных участков: первого – с внешним диаметром  $D_1 = 530 \text{ мм}$  и толщиной стенки  $\delta = 8 \text{ мм}$ , и второго с диаметром  $D_2 = 377 \text{ мм}$  и толщиной стенки  $\delta = 6 \text{ мм}$ . Скорость стационарного течения несжимаемой жидкости в первом участке составляет  $1,2 \text{ м/с}$ . Какова скорость течения жидкости во втором?

*Примечание:* Потерями на стыке участков пренебречь.

6. Определить массу 100 тыс. нормальных (т.е. давление атмосферное,  $t = 20^\circ\text{C}$ ) кубометров газа, если его молярная масса  $\mu = 19,2 \text{ кг/кмоль}$ .

7. Давление в газовом резервуаре составляет  $0,12 \text{ МПа}$ , температура  $+15^\circ\text{C}$ . На сколько повысится давление в этом резервуаре, если температура в нем возрастает на  $15^\circ\text{C}$ ?

8. При стационарной перекачки газа давление и температура в начале участка газопровода составляет  $5,2 \text{ МПа}$  и  $35^\circ\text{C}$ , а в его конце  $3,5 \text{ МПа}$  и  $10^\circ\text{C}$ , соответственно. Определить, пренебрегая сжимаемостью газа, во сколько раз скорость газа в конце участка превышает скорость газа в его начале.

9. Жидкость ( $\rho = 840 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu = 4,0 \text{ сПз}$ ) транспортируют по трубопроводу ( $D = 530 \text{ мм}$ ,  $\delta = 8 \text{ мм}$ ;  $K = 0,15 \text{ мм}$ ) с расходом  $700 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Определить режим течения и вычислить коэффициент гидравлического сопротивления.

10. Чему равен гидравлический уклон на участке трубопровода ( $D = 377 \text{ мм}$ ,  $\delta = 8 \text{ мм}$ ,  $K = 0,15 \text{ мм}$ ), транспортирующего жидкость ( $\nu = 5 \text{ сСт.}$ ) с расходом  $250 \text{ м}^3/\text{ч}$ ?

11. Транспорт жидкости ( $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu = 0,5 \text{ сПз}$ ) ведется по трубопроводу ( $D = 530 \text{ мм}$ ;  $\delta = 8 \text{ мм}$ ;  $K = 0,22 \text{ мм}$ ) с расходом  $1100 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Определить режим течения и коэффициент гидравлического сопротивления.

12. В качестве нагревательных приборов системы отопления цеха использованы стальные трубы  $d_1 = 100 \text{ мм}$ . Стояк, подводящий нагретую воду, и соединительные линии, выполнены из труб  $d_2 = 25 \text{ мм}$  и приварены к торцу труб  $d_1$ . Определить потери давления при внезапном расширении трубопроводов, если скорость движения горячей воды в подводящих линиях  $u = 0,3 \text{ м/с}$ , а температура воды  $t = 80^\circ\text{C}$ . Как изменятся потери давления, если трубы соединить диффузором с углом конусности  $\alpha = 15^\circ$  и шероховатостью  $K = 0,15 \text{ мм}$ ?

13. В трубопроводе по перекачке воды для деления потока установлена приточная крестовина. Определить величину потери давления потока в прямом проходе и в боковых ответвлениях относительно сборного рукава крестовины, если известно: угол боковых ответвлений  $\delta = 90^\circ$ ;  $d_{61} = d_{62} = d_6 = 10 \text{ см}$ ;  $d_c = d_n = 15 \text{ см}$ ,  $M_c = 100 \text{ т/ч}$ ,  $M_6/M_c = 0,35$ , температура воды  $t = 20^\circ\text{C}$ .

14. Для повышения избыточного давления на трубопроводе диаметром  $d = 0,1 \text{ м}$  установлена дроссельная шайба (диафрагма)  $d_0 = 0,05 \text{ м}$ . Определить величину потери давления в шайбе, если скорость воздуха в трубопроводе составляет  $u = 20 \text{ м/с}$ , а температура  $t = 20^\circ\text{C}$ .

15. По горизонтальному участку трубопровода ( $D = 820 \text{ мм}$ ,  $\delta = 10 \text{ мм}$ ,  $L = 120 \text{ км}$ ) перекачивают жидкость ( $\nu = 25 \text{ сСт.}$ ) с расходом  $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Для увеличения пропускной способности участка  $Q$  на 20%, решено параллельно основному трубопроводу проложить дополнительный трубопровод с диаметром, равным диаметру основного. Определить длину дополнительного трубопровода.

16. В трубопроводе ( $D = 720\text{ мм}$ ,  $\delta = 10\text{ мм}$ ,  $E_{\text{ст}} = 2,1 \cdot 10^{11}\text{ Па}$ ) произошло мгновенное (аварийное) перекрытие магистрали. Рассчитать повышение давления перед задвижкой и понижение давления после нее в первую секунду после закрытия, если вязкая жидкость, которую перекачивают по трубопроводу с расходом  $2200\text{ м}^3/\text{ч}$ , имеет следующие параметры:  $\rho = 875\text{ кг/м}^3$ ,  $E = 1350\text{ МПа}$ .

17. Перекачка газа по 100-км участку газопровода постоянного диаметра ведется в стационарном изотермическом режиме. Известны давления в начале и конце участка, а также скорость в начале участка. Заполнить пустующие ячейки нижеследующей таблицы.

Координата, км	0	20	40	60	80	100
Давление, МПа	5,50					3,50
Скорость газа, м/с	5,00					

Коэффициенты сжимаемости газа принять постоянными.

18. Уровень жидкости ( $\rho = 735\text{ кг/м}^3$ ) в вертикальном цилиндрическом резервуаре ( $D = 15\text{ м}$ ) составляет  $8\text{ м}$ , считая от его дна. В боковой поверхности резервуара на высоте  $1\text{ м}$  от дна образовалось круглое коррозионное отверстие с диаметром  $d = 0,5\text{ см}$ , через которое жидкость вытекала в течение  $28\text{ ч}$  до тех пор, пока течь не устранили. Определить, пренебрегая изменением уровня жидкости в резервуаре, сколько тонн жидкости потеряно.

19. Два центробежных насоса, один с характеристикой  $H = 330 - 0,415 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$ , другой с характеристикой  $H = 280 - 0,315 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$  ( $H$  – в м,  $Q$  – в  $\text{м}^3/\text{ч}$ ), соединенные параллельно, перекачивают вместе  $2000\text{ м}^3/\text{ч}$ . Определить напор, развиваемый системой этих двух насосов.

20. Для разделения изотопов кислорода углекислотным способом, осуществляемом в противотоке двух фаз – углекислого газа и воды, использована колонна, заполненная мелкими спирально-призматическими насадками из стальной проволоки, размерами  $3 \times 3 \times 0,2\text{ мм}$ . Определить предельную массовую нагрузку газа  $M_{\text{уд}}^*$  и гидравлическое сопротивление газовому потоку  $\Delta p/H$  слоя сухой насадки высотой в  $1\text{ м}$ , если известно, что давление  $p = 0,1\text{ МПа}$ , температура  $t = 20^\circ\text{C}$ ,  $\rho(\text{CO}_2) = 1,9\text{ кг/м}^3$ ,  $\mu(\text{CO}_2) = 1,5 \cdot 10^{-5}\text{ Па}\cdot\text{с}$ , удельный массовый расход газа  $M_{\text{уд}} = 0,1\text{ кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ , удельный весовой расход воды  $G_{\text{уд}} = 2\text{ Н}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ .

21. Представить функциональную зависимость между отдельными физическими величинами, входящими в уравнение Навье–Стокса, в виде зависимости между критериями подобия.

22. Для изучения движения дымовых газов в дымоходе устроена водяная модель в масштабе  $1:10$  ( $\alpha_L = 10$ ). Определить необходимую скорость воды на модели при следующих данных: скорость газов  $u_r = 10\text{ м/с}$ ; коэффициент кинематической вязкости газов  $\nu = 1,3\text{ см}^2/\text{с}$  (при температуре газов  $t_r = 800^\circ\text{C}$ ). Температура воды на модели  $t_b = 10^\circ\text{C}$ . Диаметр дымохода  $d_n = 50\text{ см}$ , а шероховатость его внутренней поверхности  $K = 0,005\text{ см}$ .

*Примечание:* Шероховатость натуре и модели одинакова, т.е.  $K_n = K_m = K$ .

## 8. Рейтинг качества освоения дисциплины

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Руководящими материалами по текущему контролю успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации студентов Томского политехнического университета», утвержденными приказом ректора № 77/од от 29.11.2011 г.

В соответствии с «Календарным планом изучения дисциплины»:

- текущая аттестация (оценка качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы и др.) и результаты практической деятельности (решение задач, выполнение заданий, решение проблем и

- др.) производится в течение семестра и лабораторного занятия (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 33 баллов);
- промежуточная аттестация (зачет) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), на зачете студент должен набрать не менее 22 баллов).

Итоговый рейтинг по дисциплине определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

## **9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **Основная литература:**

1. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости). - М.: Стройиздат., 1965. – 275 с.
2. Андреев Б.М., Магомедбеков Э.П., Райтман А.А. и др. Разделение изотопов биогенных элементов в двухфазных системах. – М.: ИздАТ, 2003 – 376 с.
3. Соколов Ю.Н. Основы гидрогазодинамики. – М.: Высш. шк., 1964. – 88 с.
4. Черный Г.Г. Газовая динамика. – М.: Наука, 1988. – 424 с.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

### **Дополнительная литература:**

1. Гидравлические расчеты в теплоэнергетике. Теория и задачи: Учебное пособие / А.В. Михневич, О.Л. Рыхнер, Н.Н. Михневич. – Мн.: УП «Технопринт», 2000. – 276 с.
2. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика: в 10-ти т. Т. 6. Гидродинамика. – М.: Наука, 1988. – 320 с.
3. Михайлов А.К., Ворошилов В.П. Компрессорные машины. М: Энергоатомиздат. 1989. – 288 с.
4. Примеры расчета по гидравлике: Учебное пособие для вузов / под ред. Альтшуля А.Д. М.: Стройиздат, 1977. – 255 с.
5. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтяных вузов. Учебное пособие/ под ред. Г.Д. Розенберга. М.: Недры, 1990. – 238 с.

**Программное обеспечение:** стандартное программное обеспечение компьютерного класса – Microsoft Office (Excel, Word, PowerPoint); редактор для программирования на языке СИ++; Mathcad; Matlab и т.д.

**Интернет-ресурсы:**

<http://www.rosatom.ru/>

<http://www.lib.tpu.ru/>

<http://window.edu.ru/>

<http://www.itp.nsc.ru> – сайт Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (г. Новосибирск), который являясь одним из ведущих научных центров по теории теплообмена и физической гидрогазодинамики.

[http://btn.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1555/u\\_sam.pdf](http://btn.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1555/u_sam.pdf) – учебно-методический комплекс по гидрогазодинамике.

<http://www.labotech.ru> – сайт компании "Милаформ-Сервис", поставщика лабораторного оборудования различного назначения.

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

При изучении основных разделов дисциплины, выполнении индивидуальных и практических заданий магистранты используют различное оборудование и персональные компьютеры, применяя навыки компьютерной обработки экспериментальных результатов.

При освоении дисциплины используются технические средства компьютерного класса кафедры ТФ ауд. 242 и лабораторное оборудование ауд. 247 и 001 10 уч. корпуса ТПУ.

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС и ООП по направлению 14.04.02 «Ядерная физика и технологии» и профилю подготовки «Изотопные технологии и материалы»

Программа одобрена на заседании кафедры ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА ФТИ ТПУ (протокол № 21 от «27» 01 2016 г.).

Доцент кафедры ТФ ФТИ \_\_\_\_\_  Д.Г. Видяев

Рецензент \_\_\_\_\_  А.П. Вергун