

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»  
Кафедра "Промышленная теплотехника"

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине

М.1.1.6 «Спецвопросы математического моделирования сопряженных  
процессов гидрогазодинамики и теплообмена»

направления подготовки

13.04.01 - «Теплоэнергетика и теплотехника (МТПЭН)»

Магистерская программа «Тепловые и атомные электрические станции»  
(для дисциплин, реализуемых в рамках профиля)

форма обучения – очная

курс – 1

семестр – 2

зачетных единиц – 2

часов в неделю – 2

академических часов – 72,

в том числе:

лекции – 2

коллоквиумы – нет

практические занятия – 16

лабораторные занятия – нет

самостоятельная работа – 54

зачет – 2 семестр

экзамен – нет

РГР – нет

курсовая работа – нет

курсовой проект – нет

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель преподавания дисциплины:

- формирование у студентов основополагающих знаний и умений в области современных методов математического описания, физического и численного моделирования процессов гидродинамики и теплообмена, протекающих в промышленных теплообменных аппаратах;
- развитие практических навыков решения конкретных задач моделирования теплогидравлических процессов;
- развитие навыков и умения творческого использования основных численных методов решения практических задач;
- обеспечение предпосылок для квалифицированного участия в научно-исследовательской деятельности.

Задачи изучения дисциплины:

- изучение методов модельного представления теплогидравлических и теплотехнологических процессов в промышленных теплообменных аппаратах;
- овладение теорией современных численных методов расчёта теплообменных процессов;
- овладение теоретическими сведениями и практическими навыками построения расчётных методик и обобщённого решения на ЭВМ наиболее распространённых в теплотехнике задач.
- приобретение практических навыков составления программ моделирования теплообмена

## 2. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

Перечень дисциплин, усвоение которых студентами необходимо для усвоения данной дисциплины: «Физика», «Математика», «Информационные технологии», «Теплообмен», «Гидрогазодинамика», «Математическое моделирование», «Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях».

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Изучение дисциплины направлено на формирование компетенции ОПК- 2: способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы.

Студент должен **знать**:

современные методы моделирования, расчета и оптимизации на ЭВМ процессов гидродинамики, аэродинамики, теплообмена в промышленных аппаратах и установках.

Студент должен **уметь**:

- использовать современные методы расчета теплообменных процессов, аппаратов и установок с применением пакетов прикладных программ для моделирования, расчета, автоматизированного

проектирования и обоснованного выбора типоразмеров тепло- и массообменных аппаратов;

- самостоятельно составлять математические модели различных теплогидравлических процессов, протекающих в промышленных аппаратах, разрабатывать компьютерные программы, реализующие расчет по составленным моделям;
- решать задачи моделирования тепломассообменных и гидрогазодинамических процессов на основе самостоятельно разработанных компьютерных подпрограмм для расчета отдельных аппаратов и элементов технологической схемы.
- ориентироваться в методах анализа результатов физического моделирования тепломассообменных процессов и построения теоретически обоснованных критериальных зависимостей, описывающих эти процессы.

Студент должен *владеть*:

- современными методами моделирования и оптимизации тепломассообменных процессов в теплотехнологических установках

#### 4. Распределение трудоёмкости (час.) дисциплины по темам и видам занятий

№ модуля	№ недели	№ темы	Наименование темы	Часы					
				Всего	Лекций	Коллоквиумы	Лабораторн.	Практ. занятий	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1		Введение	1	-	-	-	-	1
	2-6	1	Теоретические основы численного решения задач гидрогазодинамики и тепломассообмена	14	1	-	-	4	9
	7-10	2	Общие закономерности процессов переноса количества движения, энергии и массы	9	1	-	-	2	6
2	11-17	3	Математическое моделирование процессов гидрогазодинамики и тепломассообмена	44	-	-	-	10	34
	18		Заключение	4	-	-	-	-	4
Всего:				72	2	-	-	16	54

#### 5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	№ лекции	Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

1	2	3	4	
1	1	1	<p><i>Теоретические основы численного решения задач гидрогазодинамики и теплообмена</i></p> <p>Предварительные сведения о приемах вычислений. Дискретизация. Преобразование производных в дискретные алгебраические выражения. Аппроксимация производных. Точность процесса дискретизации. Сравнение формул высокого и низкого порядка.</p>	1, 2, 6
2	1	1	<p><i>Общие закономерности процессов переноса количества движения, энергии и массы</i></p> <p>Аналогия процессов переноса количества движения, энергии и массы. Уравнение неразрывности. Уравнение движения. Уравнение энергии. Подобие полей скоростей, концентраций и температур. Раздельное рассмотрение движущей силы переноса и его кинетических характеристик. Транспортные коэффициенты. Аналогия процессов тепло- и массопереноса. Электродинамическая и электротепловая аналогия и возможности физического моделирования теплогидравлических процессов.</p>	2, 3, 8, 5

Итого: 2 часов

## 6. Содержание коллоквиумов

Коллоквиумы учебным планом не предусмотрены.

## 7. Перечень практических занятий

№ тем	Всего часов	№ занятия	Тема практического занятия. Вопросы, отрабатываемые на практическом занятии.	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	1	Метод конечных разностей в приложении к нестационарной задаче теплопроводности (диффузии). Запись конечно-разностного аналога уравнения диффузии. Алгоритм решения задачи. Определение ошибки дискретизации.	2, 6, 7, 4, 9
		2	Метод конечных объемов в применении к решению уравнения Лапласа. Алгоритм решения задачи. Определение ошибки решения. Решение на ЭВМ уравнения Лапласа методом конечных объемов.	
2	2	3	Метод конечных элементов в приложении к решению задачи о течении вязкой жидкости в канале прямоугольного сечения. Алгоритм решения задачи. Определение ошибки решения.	1, 2, 8, 5, 7, 15

3	2	4	Маршевый метод решения задачи о течении в ламинарном пограничном слое. Конечно-разностная схема. Алгоритм решения задачи. Сравнение с точным решением.	2, 6, 8, 5, 7, 9, 15
	2	5	Решение на ЭВМ задачи о течении в ламинарном пограничном слое.	
	2	6	Течения, описываемые укороченными уравнениями Навье-Стокса.	
	2	7	Течения в пограничном слое. Простые течения в пограничном слое. Двумерный пограничный слой.	
	2	8	Сложные течения в пограничных слоях. Течение в турбулентном пограничном слое.	

Итого: 16 часов

## 8. Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы учебным планом не предусмотрены.

## 9. Задания для самостоятельной работы студентов

№ те-мы	Все-го ча-сов	Вопросы для самостоятельного изучения (задания).	Учебно-методиче-ское обес-печение
1	2	3	4
	1	Основные исторические этапы развития представлений о тепломассообмене и методах моделирования тепломассообменных процессов. Роль отечественных и зарубежных ученых в развитии методов моделирования.	2, 6, 7, 4, 9
1	5	Метод конечных разностей. Согласованность дискретного алгебраического представления. Численная сходимость. Устойчивость решения. Точность решения. Вычислительная эффективность.	1, 2, 8, 5, 7, 15
	4	Концепция метода взвешенных невязок и его отличие от метода конечных разностей. Варианты метода взвешенных невязок.	
2	6	Метод конечных объемов. Метод конечных элементов и интерполяция.	2, 6
3	8	Обобщённые криволинейные координаты. Преобразование координат. Аппроксимация параметров преобразования. Формулы с центральными разностями. Аппроксимация методом конечных элементов. Ошибки, связанные с использованием обобщённых координат.	1, 2, 8, 5, 7, 4

	6	Структура типичных уравнений в обобщённых координатах. Уравнения в частных производных первого и второго порядка. Уравнение движения жидкости. Уравнение Лапласа в обобщённых координатах.	
	4	Перенос количества движения. Касательное напряжение. Ньютоновские жидкости. Неньютоновские жидкости.	
	4	Молекулярная и турбулентная вязкость. Турбулентные пульсации, их масштаб и частота. Длина пути смешения. Неустойчивость турбулентности. Теория локальной изотропной турбулентности. А. Н. Колмогорова.	
	6	Движение неньютоновских жидкостей. Классификация неньютоновских сред: бингамовские и степенные (псевдопластичные, дилатантные) среды. Реологические модели. Кажущаяся вязкость.	
	6	Реализация численных методов решения задач гидродинамики и тепломассообмена в современных специализированных прикладных программах: ANSYS - FLUENT, STAR-CD, Flow Vision. Основные возможности программ в реализации современных методов САД-проектирования.	4, 7, 8
	4	Домашняя проработка материалов аудиторных занятий (из расчета 20% от количества аудиторных занятий) 0,2 x 18 = 4 часов.	Конспекты лекций

Итого: 54 часа

**10.Расчётно-графическая работа** учебным планом не предусмотрена

**11.Курсовой проект** учебным планом не предусмотрен

**12. Курсовая работа** учебным планом не предусмотрена

**13.Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**

Общепрофессиональная компетенция ОПК-2 формируется по этапам:

- изучение и освоение математического аппарата, предназначенного для решения исследовательских задач;
- изучение методики реализации рассматриваемых численных методов в виде алгоритма решения задачи на ЭВМ;
- освоение методики составления программного кода, реализующего выбранный алгоритм решения задачи;
- приобретение навыков ввода в ЭВМ, проверки работоспособности и отладки программ собственной разработки в среде MS VBA;
- приобретение навыков и умений выполнения исследовательских расчётов по составленным программам;

- приобретение опыта оценки адекватности получаемых результатов численного эксперимента.

Карта компетенций					
Индекс	Компетенции	Перечень компонентов	Технологии формирования	Метод оценивания	Ступени уровней освоения компетенции
ОПК-2	способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	<p><b>Знать</b> современные методы математического моделирования тепломассообменных и гидрогазодинамических процессов.</p> <p><b>Уметь</b> с учётом современных представлений о тепломассообмене и гидрогазодинамике составлять математическую модель тепловой и гидравлической работы теплоэнергетического оборудования; составлять алгоритм расчёта, реализующий данную модель и осуществлять программную реализацию составленного алгоритма; уметь представлять результаты исследования.</p> <p><b>Владеть</b> современными численными методами решения на ЭВМ задач гидрогазодинамики и теплообмена, навыками алгоритмизации этих задач, составления и отладки компьютерных программ; владеть навыками оценки адекватности результатов численного моделирования.</p>	<p>Лекции; практические занятия; самостоятельная работа в библиотеке, с электронными ресурсами и базами данных; выполнение на ЭВМ индивидуальных заданий.</p>	<p>Устный ответ; выполнение индивидуального задания при проведении коллоквиумов; решение задач согласно индивидуальным заданиям; компьютерное тестирование; выполнение заданий зачёта.</p>	<p><b>Пороговый</b></p> <p><b>Знает</b> общие принципы исследовательского моделирования тепломассообмена и гидрогазодинамики в теплоэнергетическом оборудовании.</p> <p><b>Умеет</b> использовать готовые математические модели и алгоритмы для исследования некоторых частных случаев процессов тепломассообмена и гидрогазодинамики.</p> <p><b>Владеет</b> навыками выполнения исследовательских расчётов процессов тепломассообмена и гидрогазодинамики по готовым моделирующим программам, представления результатов моделирования и оценки адекватности этих результатов.</p>
					<p><b>Продвинутый</b></p> <p><b>Знает</b> современные численные методы исследовательского моделирования тепломассообменных и гидрогазодинамических процессов, методику их алгоритмизации и программной реализации. Материал излагает стройно, логически и структурно взаимосвязано, отвечает на большую часть вопросов преподавателя.</p> <p><b>Умеет</b> выполнять исследовательское моделирование по самостоятельно составленным компьютерным программам используя стандартные методы исследования и готовые программные решения для представления результатов исследования.</p> <p><b>Владеет</b> методикой алгоритмизации математических моделей тепломассообменных и гидрогазодинамических процессов и владеет навыком составления компьютерных программ по готовым алгоритмам.</p>
					<p><b>Высокий</b></p> <p><b>Знает</b> вопросы моделирования и современными методами исследования тепломассообменных и гидрогазодинамических процессов, демонстрирует углублённое теоретическое понимание, приводит примеры применения современных методов исследования для актуальных задач тепловой и гидравлической работы теплоэнергетического оборудования.</p> <p><b>Умеет</b> грамотно излагать суть поставленной задачи, ставить и решать нетривиальные задачи, может оценивать и представлять полученные результаты, делать выводы.</p> <p><b>Владеет</b> навыками алгоритмизации математических методов исследования тепломассообменных и гидрогазодинамических процессов и опытом составления компьютерных программ, реализующие эти алгоритмы, а также выполнения исследовательского расчёта, оценки достоверности получаемых результатов и навыком их представления.</p>

### Структура типовых контрольных заданий для зачёта

Изучение дисциплины призвано сформировать у студента компетенцию ОПК-2 в разрезе изучаемого курса. По итогам изучения дисциплины студент должен:

### **Пороговый уровень**

- **знать** теоретические основы моделирования тепломассообмена и гидрогазодинамики при течении теплоносителя в каналах простой геометрии.
- **уметь** составлять вычислительную программу на языке программирования Microsoft Visual Basic, позволяющую получить решение типовой задачи тепломассообмена и гидрогазодинамики (перечень типовых задач заранее известен студенту).
- **владеть** навыками выполнения исследовательских расчётов процессов тепломассообмена и гидрогазодинамики по готовым моделирующим программам, представления результатов моделирования и оценки адекватности этих результатов.

### **Продвинутый уровень**

- **знать** современные численные методы исследовательского моделирования тепломассообменных и гидрогазодинамических процессов, методику их алгоритмизации и программной реализации.
- **уметь** выполнять исследовательское моделирование в задачах теплообмена и гидродинамики по самостоятельно составленным компьютерным программам (формулировка задачи студенту заранее известна) используя стандартные методы исследования и готовые программные решения для представления результатов исследования.
- **владеть** методикой алгоритмизации математических моделей тепломассообменных и гидрогазодинамических процессов и владеет навыком составления компьютерных программ по готовым алгоритмам, выполнения численного моделирования теплогидравлических процессов в заданных упрощённых условиях, оценки адекватности получаемых результатов.

### **Высокий уровень**

- **знать** современные методы исследования тепломассообменных и гидрогазодинамических процессов, демонстрирует их углублённое теоретическое понимание, преимущества и недостатки изученных численных методов, приводит примеры применения современных методов исследования для актуальных задач тепловой и гидравлической работы теплоэнергетического оборудования.
- **уметь** грамотно излагать суть поставленной задачи, ставить и решать нетривиальные задачи, может оценивать и представлять полученные результаты, делать выводы; проводить аналитическую проверку условий сходимости итерационной процедуры, сопоставлять вычислительную эффективность изученных численных методов применительно к конкретной решаемой задаче; пользуясь готовым алгоритмом решения задачи составлять вычислительную программу на языке программирования MS Visual Basic, позволяющую получить решение уравнений, которые студенту заранее неизвестны; вносить изменения в алгоритм, учитывающие специфику конкретной решаемой задачи с целью повышения эффектив-



ности вычислительной процедуры; обосновывать выбор рационального численного метода для решения данной задачи.

- **владеть** навыками алгоритмизации математических методов исследования тепломассообменных и гидрогазодинамических процессов и опытом составления и отладки компьютерных программ, реализующие эти алгоритмы, а также выполнения исследовательского расчёта с учётом меняющейся формулировки задачи, с учётом особенностей решаемого уравнения (системы уравнений), оценки достоверности получаемых результатов и навыком их представления.

В ходе первого этапа итоговой аттестации в качестве задания для зачёта студенту предлагается решить одну из задач, рассмотренных в течение семестра в ходе изучения курса, изложив теоретические основы решения рассматриваемой задачи, аналитическое представление решения, алгоритм решения, а также представить работоспособную программу и произвести необходимые вычисления с её помощью; обосновать правильность полученного результата и определить вычислительную погрешность.

#### *Примеры задач для зачёта*

- Определить распределение скоростей и напряжений при стационарном безнапорном движении несжимаемой жидкости между двумя плоскими пластинами, из которых одна покоится, а вторая движется в своей плоскости со скоростью  $U_0$ . Расстояние между пластинами  $h$ .
- Определить нестационарное поле скоростей несжимаемой жидкости в пространстве над плоской неограниченной пластиной, которая в начальный момент времени приведена в движение в своей плоскости со скоростью  $U_0$ .
- В зазоре между двумя цилиндрами радиусами  $r_1$  и  $r_2$  находится жидкость. Один из цилиндров неподвижен, а второй движется вдоль оси со скоростью  $U_0$ . Определить поле скоростей в потоке. Для протаскивания какого цилиндра (внешнего или внутреннего) необходимо приложить большее усилие.
- Определить распределение скоростей и коэффициент гидравлического сопротивления при ламинарном установившемся течении жидкости в плоской щели шириной  $2 \cdot h$ . Найти отношение максимальной скорости к средней по сечению.
- Определить распределение скоростей и коэффициент гидравлического сопротивления при ламинарном установившемся течении жидкости в кольцевой трубе с радиусами  $r_1, r_2$ .

В ходе второго этапа итоговой аттестации студенты отвечают на билеты, сформированные из следующих теоретических вопросов.

1. Физическое и математическое моделирование. Сравнительная характеристика.

2. Преобразование производных в дискретные алгебраические выражения.
3. Точность процесса дискретизации. Сравнение формул высокого и низкого порядка.
4. Метод конечных разностей.
5. Метод конечных разностей. Согласованность дискретного алгебраического представления и исходного дифференциального уравнения.
6. Метод конечных разностей. Численная сходимость решения.
7. Метод конечных разностей. Устойчивость решения.
8. Метод конечных разностей. Точность решения.
9. Метод взвешенных невязок. Общая формулировка.
10. Отличие метода взвешенных невязок от метода конечных разностей.
11. Метод конечных объемов.
12. Метод конечных элементов.
13. Уравнения движения для физических переменных.
14. Уравнение переноса вихря и уравнение для функции тока.
15. Запись уравнений движения в напряжениях.
16. Течения в пограничном слое. Математическое описание.
17. Течения, описываемые укороченными уравнениями Навье - Стокса.
18. Несжимаемые вязкие течения.
19. Влияние граничных условий в расчетных сетках.
20. Эффекты, порождаемые численным решением. Псевдотурбулилизация. Численная диффузия. Пилообразные осцилляции.
21. Обобщённые криволинейные координаты. Преобразование координат. Аппроксимация параметров преобразования. Ошибки, связанные с использованием обобщённых координат.
22. Запись в обобщённых координатах уравнений с частными производными.
23. Сравнение схем решения систем уравнений в естественных переменных и переменных завихренности - функция тока.
24. Реализация численных методов решения задач гидродинамики и теплообмена в современных прикладных программах. Основные возможности программ.
25. Молекулярная и турбулентная вязкость. Турбулентные пульсации, их масштаб и частота. Длина пути смешения.
26. Неустойчивость турбулентности. Теория локальной изотропной турбулентности. А. Н. Колмогорова.
27. Аналогия процессов переноса количества движения, энергии и массы. Подобие полей скоростей, концентраций и температур.
28. Ньютоновские и неньютоновские жидкости. Классификация неньютоновских жидкостей. Реологические модели.
29. Гидродинамика неньютоновских жидкостей.
30. Теплообмен неньютоновских жидкостей.

## Тестовые задания по дисциплине

Тестовые задания, размещённые в среде АСТ-тест, распределены по темам. Большинство тестовых вопросов и заданий, составленных в закрытой форме, представлены несколькими вариантами, содержащими единую формулировку вопроса (задания), но различные алгебраические уравнения или фрагменты алгоритма, программного кода, либо численные значения параметров, на основе анализа которых, студент должен сделать правильный вывод. В ходе тестирования студенту, как правило, предъявляется один из вариантов, выбираемый случайным образом. Такой подход позволяет более объективно оценить знание студентом терминологии и основных понятий дисциплины, его умение правильно анализировать и сопоставлять имеющуюся информацию, а также уровень владения математическим аппаратом и способность практического применения теоретических знаний. Снижается вероятность механического заучивания студентом численных значений либо графических изображений, соответствующих единственному правильному ответу на тестовый вопрос, т.к. одно и то же символическое обозначение в зависимости от формулировки задания может быть, как верным, так и неверным ответом на вопрос.

номера вопросов	формулировка вопроса (задания)
<b>Тема 1</b> Теоретические основы численного решения задач гидрогазодинамики и тепломассообмена	
1-22	<p>Выбрать верные (либо указать неверные) формулировки и определения понятий, касающиеся моделирования тепломассообмена и гидрогазодинамики на основе конечных разностей:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– конечно-разностные схемы для решения нелинейных задач;</li> <li>– сходимость разностной схемы;</li> <li>– аппроксимация дифференциального уравнения разностным аналогом;</li> <li>– устойчивость применяемой разностной схемы;</li> <li>– выбор числа итераций;</li> <li>– определение погрешности численного решения;</li> <li>– формулировка условия завершения итерационной процедуры;</li> <li>– явная и неявная разностные схемы, их сопоставление;</li> <li>– консерватизм разностной схемы;</li> <li>– монотонность разностной схемы;</li> <li>– метод баланса для получения разностных схем;</li> <li>– квазилинейные разностные схемы;</li> <li>– отличия метода конечных разностей и метода конечных объёмов.</li> </ul>
23-28	<p>Формулировки схем решения обыкновенных дифференциальных уравнений гидродинамики (запись разностных сопоставительный анализ, достоинства и недостатки, ограничения на применение):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– схема Эйлера (с модификациями);</li> </ul>

номера вопросов	формулировка вопроса (задания)
	– схема Адамса (2-го порядка, 4-го порядка аппроксимации); – схема Рунге-Кутты 4-го порядка аппроксимации.
<b>Тема 2.</b> Общие закономерности процессов переноса количества движения, энергии и массы	
29-37	понятие невязкой жидкости; практическое использование модели невязкой жидкости; – уравнения движения невязкой жидкости; – постановка задачи для безвихревых стационарных потоков невязкой несжимаемой жидкости; – потенциальное течение; условия реализации; – взаимосвязь функции тока с компонентами скорости движения жидкости;
<b>Тема 3.</b> Математическое моделирование процессов гидрогазодинамики и теплообмена	
38-51	– универсальный профиль скорости, его практическое применение; – аппроксимации универсального профиля скорости; – распределение скорости по радиусу трубы при ламинарном течении; – распределение скорости по радиусу трубы при турбулентном течении; – изменение давления по длине трубы на участке стабилизированного ламинарного режима движения; – изменение давления по длине трубы на участке стабилизированного турбулентного режима движения;
52-65	– взаимосвязь напряжения в потоке вязкой жидкости с полем скорости; – понятие и характеристики вязкостного течения, примеры; – понятие пограничного слоя; – существование пограничного слоя; – соотношение сил вязкости и инерции в пограничном слое – толщина пограничного слоя;

#### 14. Образовательные технологии

В рамках реализации компетентностного подхода предусматривается реализация активных и интерактивных форм проведения занятий. В частности, в ходе проведения практических занятий предусматривается решение ситуационных задач в диалоговом режиме.

#### 15. Перечень учебно-методического обеспечения для обучающихся по дисциплине

### 1. Обязательные издания

1. Андрижиевский А.А. Механика жидкости и газа [Электронный ресурс]: учеб. пособие/ Андрижиевский А.А.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Вышэйшая школа, 2014.— 208 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/35498>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

2. Кузнецов В.А. Основы гидрогазодинамики [Электронный ресурс]: учеб. пособие/ Кузнецов В.А.— Электрон. текстовые данные.— Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2012.— 108 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/28374>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

3. Фалькович Г. Современная гидродинамика [Электронный ресурс]/ Фалькович Г.— Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2014.— 208 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/28914>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

### 2. Дополнительные издания

4. Алексеев Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Механика жидкости и газа» [Электронный ресурс]: учеб. пособие/ Алексеев Г.В., Бриденко И.И.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Вузовское образование, 2013.— 132 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16895>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

5. Козлов В.В. Общая теория вихрей [Электронный ресурс]/ Козлов В.В.— Электрон. текстовые данные.— Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Издательский дом Удмуртский университет, 2013.— 234 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17641>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

6. Ломов С.А. Основы математической теории пограничного слоя [Электронный ресурс]: монография/ Ломов С.А., Ломов И.С.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2011.— 456 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13148>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

7. Механика жидкости и газа [Электронный ресурс]: метод. указания/ — Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2013.— 31 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26873>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

8. Соколовский М.А. Динамика вихревых структур в стратифицированной вращающейся жидкости [Электронный ресурс]/ Соколовский М.А., Веррон Ж.— Электрон. текстовые данные.— Москва-Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2011.— 372 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17621>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

### 3. Периодические издания

9. Вестник Саратовского государственного технического университета (2011-2015). Режим доступа: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=9567> – в свободном доступе для зарегистрированных пользователей.

10. Вестник МЭИ (Московского энергетического института) (2011-2015): Режим доступа: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=8518> – в свободном доступе для зарегистрированных пользователей.

11. Теплоэнергетика (2011-2015). Режим доступа: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=8246> – в свободном доступе для зарегистрированных пользователей.

12. Известия РАН. Энергетика. – М.: Наука, (2011-2015), № 1 – 6. - ISSN 0002-3310. Режим доступа: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=9333> – в свободном доступе для зарегистрированных пользователей.

13. Промышленная энергетика.: произв.-техн. журн. - М. : НТФ "Энергопрогресс", (2011-2015), № 1 – 12. - ISSN 0033-1155. Режим доступа: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7968> – в свободном доступе для зарегистрированных пользователей

14. Теплофизика и аэромеханика(2011-2015) Режим доступа: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7622>– в свободном доступе для зарегистрированных пользователей.

15. Известия РАН. Механика жидкости и газа (2011-2015). Режим доступа: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7827>– в свободном доступе для зарегистрированных пользователей.

#### 5. Интернет-ресурсы

16. Специальная литература по планированию эксперимента и математической статистике: <http://www.twirpx.com/file/173178/>

17. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло-и массообмена: <http://www.chtivo.ru/book/1620805/>

18. <http://www.thermal.ru>, Электронный курс “Тепломассообмен в энергетических установках” А.П. Солодов

19. <http://twt.mpei.ac.ru/ТТНВ>, (<http://www.vpu.ru/mas>), Учебный сетевой ресурс “Интерактивные WEB-справочники по теплоэнергетике” Копылов А.С., Кондакова Г.Ю., Орлов К.А., Очков В.Ф., Чудова Ю.В., Яньков Г.Г.

#### 4. Ресурсы информационно-образовательной среды

20. Долотовский И. В., Ларин Е. А., Долотовская Н. В. Энергетическая эффективность технологических систем промышленных предприятий : учеб. пособие / И. В. Долотовский, Е. А. Ларин, Н. В. Долотовская ; Саратовский гос. техн. ун-т. – 2013. – 130 с. – Режим доступа:

[https://portal3.sstu.ru/Facult/EF/PT/13.03.01\\_pt/b.1.2.10\\_1/DocLib/1.%20%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8B/1.3%20%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D1%8B%D0%B](https://portal3.sstu.ru/Facult/EF/PT/13.03.01_pt/b.1.2.10_1/DocLib/1.%20%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8B/1.3%20%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D1%8B%D0%B)

[https://portal3.sstu.ru/Facult/EF/TEAS/13.04.01\\_m5/m5tpen\\_m116\\_2/DocLib/2.%20%D0%A3%D1%87%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D1%8F/%D0%A3%D1%87%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%B5%20%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C.pdf](https://portal3.sstu.ru/Facult/EF/TEAS/13.04.01_m5/m5tpen_m116_2/DocLib/2.%20%D0%A3%D1%87%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D1%8F/%D0%A3%D1%87%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%B5%20%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C.pdf). – ИОС СГТУ, по паролю.

21. Серов Д.Ю., Спецвопросы математического моделирования сопряженных процессов гидрогазодинамики и тепломассообмена: метод. указ. для практич. занятий [Электронное издание]. Саратов: СГТУ, 2015. – 10 с. – Режим доступа:

[https://portal3.sstu.ru/Facult/EF/TEAS/13.04.01\\_m5/m5tpen\\_m116\\_2/DocLib/2.%20%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%BE-%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8B/2.1.%20%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8E%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85%20\(%D1%81%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85\)%20%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D1%8F%D1%82%D0%B8%D0%B9/%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4\\_%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B7\\_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82\\_%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D1%8F%D1%82.pdf](https://portal3.sstu.ru/Facult/EF/TEAS/13.04.01_m5/m5tpen_m116_2/DocLib/2.%20%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%BE-%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8B/2.1.%20%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8E%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85%20(%D1%81%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85)%20%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D1%8F%D1%82%D0%B8%D0%B9/%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B7_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82_%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D1%8F%D1%82.pdf) – ИОС СГТУ, по паролю.

22. Серов Д.Ю., Спецвопросы математического моделирования сопряженных процессов гидрогазодинамики и тепломассообмена: метод. указ. для самостоятельной работы студентов [Электронное издание]. Саратов: СГТУ, 2015. – 10 с. – Режим доступа:

[https://portal3.sstu.ru/Facult/EF/TEAS/13.04.01\\_m5/m5tpen\\_m116\\_2/DocLib/2.%20%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%BE-%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8B/2.4.%20%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%20%D0%A1%D0%A0%D0%A1/%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4\\_%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F\\_%D0%B4%D0%BB%D1%8F\\_%D0%A1%D0%A0%D0%A1.pdf](https://portal3.sstu.ru/Facult/EF/TEAS/13.04.01_m5/m5tpen_m116_2/DocLib/2.%20%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%BE-%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8B/2.4.%20%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%20%D0%A1%D0%A0%D0%A1/%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%B4%D0%BB%D1%8F_%D0%A1%D0%A0%D0%A1.pdf) – ИОС СГТУ, по паролю.

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

При проведении практических занятий, при решении студентами задач в рамках СРС используются персональные компьютеры, расположенные в дисплейном классе кафедры ПТ и в дисплейном классе энергетического факультета, лицензионные компьютерные программы: MS Excel, MS PowerPoint, MS Visual Basic for Applications, АСТ-тест, электронные версии учебной литературы.

## **17. Дополнения и изменения в рабочей программе**