

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего профессионального образования**  
**«Владимирский государственный университет**  
**имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
**(ВлГУ)**



Первый проректор, проректор по научной  
и инновационной работе

В.Г. Прокошев

« 3 » июня 201 5 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Численные методы и компьютерные технологии**

**в задачах гидрогазодинамики**

**Направление подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника**

**Направленность (профиль) подготовки «Тепловые двигатели»**

**Квалификация выпускника «Исследователь. Преподаватель-исследователь»**

**Форма обучения очная**

| Год   | Трудоем-<br>кость зач.<br>ед, час. | Лек-<br>ции,<br>час. | Практич.<br>занятия,<br>час. | Лаборат.<br>работы,<br>час. | СРА,<br>час. | Форма проме-<br>жуточной атте-<br>стации<br>(экз./зачет) |
|-------|------------------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------------------------------------------------|
| 2     | 2/72                               | 20                   | 4                            | -                           | 48           | зачет                                                    |
| Итого | 2/72                               | 20                   | 4                            | -                           | 48           | зачет                                                    |

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Численные методы и компьютерные технологии в задачах гидрогазодинамики» посвящена изучению и математическому описанию процессов, происходящих в потоках жидкостей и газов с учетом задач, возникающих в области поршневых двигателей. В силу того, что системы уравнений гидрогазодинамики могут быть решены аналитически лишь в весьма ограниченном числе случаев, изучение методов численного решения этих уравнений является важной составляющей подготовки научных работников в области тепловых двигателей.

В процессе обучения аспирантам дается представление о методах построения численных схем решения систем дифференциальных уравнений в частных производных, характеристиках численных схем и методах их оценки. Особое внимание уделяется особенностям численного решения задач механики жидкостей и газов и построению численных схем решения одно-, двух- и трехмерных задач гидрогазодинамики. При изучении дисциплины учитываются особенности течений жидкостей и газов в поршневых двигателях, а также возможности современных компьютерных технологий для решения задач гидрогазодинамики.

**Целью дисциплины** «Численные методы и компьютерные технологии в задачах гидрогазодинамики» является обучение аспирантов практическому использованию численных методов и компьютерных технологий решения задач механики жидкости и газа с учетом особенностей течений в поршневых двигателях.

### **Задачи дисциплины:**

- ознакомить аспирантов с основными численными схемами решения одно-, двух- и трехмерных задач механики жидкости и газа;
- сформировать навыки разработки и использования математических моделей течений жидкостей и газов с учетом характерных особенностей, присущих энергетическим установкам и тепловым двигателям;
- дать представление о возможностях использования компьютерных технологий для решения задач гидрогазодинамики применительно к области поршневых двигателей;
- обучить аспирантов основам оценки адекватности результатов вычислительного эксперимента по численному моделированию течений жидкости и газа в поршневых двигателях.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Численные методы и компьютерные технологии в задачах гидрогазодинамики» относится к вариативной части блока Б1 структуры программы аспирантуры.

Вариативная часть дает возможность расширения и углубления знаний, умений, навыков и компетенций, определяемых содержанием базовых (обязательных) дисциплин (модулей), позволяет получить углубленные знания, навыки и компетенции для успешной профессиональной деятельности и подготовки в аспирантуре.

Для успешного изучения курса аспиранты должны быть знакомы с основными положениями высшей математики (дифференциальное и интегральное исчисление), физики (молекулярно-кинетическая теория), химии, термодинамики и тепломассообмена, механики жидкости, газовой динамики, информатики, теории рабочих процессов поршневых двигателей, конструировании двигателей, основ научных исследований и испытаний двигателей, систем двигателей, а также пройти производственную практику на машиностроительном предприятии.

Дисциплина «Численные методы и компьютерные технологии в задачах гидрогазодинамики» дает аспирантам представление о численных методах интегрирования систем дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих потоки жидкостей

и газов в рабочих органах, системах и агрегатах поршневых двигателей. При этом аспиранты используют понятийный и математический аппарат, изучаемый в курсе высшей математики.

Знания о строении вещества, полученные при изучении физики и химии, позволяют студентам составить целостную картину физических процессов и явлений, возникающих в движущейся сплошной среде. Положения термодинамики и теории тепломассообмена позволяют установить количественную взаимосвязь между параметрами состояния, а также потоками массы и энергии, при движении жидкостей и газов.

Структура и вид систем дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих особенности течения жидкости изучается в курсе механики жидкости, а газа – газовой динамики.

Материал ранее изучаемых дисциплин бакалавриата и магистратуры позволяет аспирантам учитывать особенности поршневых двигателей как объектов исследований при проведении расчетных исследований течений жидкости и газа и оценке их результатов.

Навыки использования компьютерной техники, полученные при изучении информатики, должны помочь аспирантам при освоении программ, реализующих алгоритмы численного решения задач механики жидкости и газа, при проведении, обработке и оформлении результатов, вычислительных экспериментов по исследованию течений в поршневых двигателях.

Дисциплина «Численные методы и компьютерные технологии в задачах гидрогазодинамики» является важной составной частью процесса подготовки современного специалиста высшей квалификации, владеющего перспективными методами разработки и исследования энергетических установок, способного к инновационной деятельности в условиях высокотехнологичной, модернизируемой технической и научной среды.

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование:

- способности к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- способности решать научно-исследовательские задачи в области тепловых двигателей с целью повышения их технического уровня (ПК-1);
- готовности к прогнозированию технического уровня тепловых двигателей на основе анализа их рабочих процессов и показателей (ПК-2);
- способности к созданию новых технических и технологических решений для повышения эффективности тепловых двигателей (ПК-3);
- способности к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).

В результате изучения дисциплины аспирант **должен:**

**знать:**

- особенности математического моделирования одно-, двух- и трехмерных, дозвуковых и сверхзвуковых, ламинарных и турбулентных, внешних и внутренних течений идеальной и реальной несжимаемой и сжимаемой жидкостей (ОПК-3, ПК-1, ПК-2, УК-1);

**уметь:**

- использовать компьютерные технологии и математические модели потоков жидкости и газа, учитывающие характерные особенности течений в поршневых двигателях (ОПК-3, ПК-2, ПК-3, УК-1);
- анализировать результаты расчетных исследований течений жидкости и газов, делать обоснованные выводы на основе такого анализа (ОПК-3, ПК-1, ПК-3, УК-1);

- проводить оценку адекватности полученных в результате расчетных исследований течений жидкости и газов данных (ОПК-3, ПК-2, ПК-3, УК-1);
- владеет практическими навыками:*
- компьютерного моделирования течений жидкости и газа (ОПК-3, ПК-3, УК-1).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### «Численные методы и компьютерные технологии в задачах гидрогазодинамики»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы трудоемкости (2-й курс – 2 ЗЕТ), 72 часа.

##### 4.1. Общеобразовательные модули дисциплины

| № п/п                   | Раздел (тема) дисциплины                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Год обучения | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах) |          |                      |                     |           | Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------|---------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |              | Лекции                                                                                  | Семинары | Практические занятия | Лабораторные работы | СР        |                                                                                                           |
| 1                       | Предмет, задачи и средства вычислительной гидрогазодинамики. Системы уравнений, описывающие течение несжимаемой и сжимаемой жидкости. Численное решение систем дифференциальных уравнений в частных производных. Одно-, двух- и трехмерные задачи механики жидкости и газа. Метод конечных разностей. Согласованность, сходимость и устойчивость. | 2            | 2                                                                                       | -        | -                    | -                   | 5         |                                                                                                           |
| 2                       | Обобщенная схема метода Годунова. Решение задачи одномерного распространения плоских акустических волн. Нестационарные одномерные течения жидкостей и газов в разветвляющихся трубопроводах. Метод Годунова для решения задач многомерной гидрогазодинамики.                                                                                      | 2            | 2                                                                                       | -        | -                    | -                   | 3         |                                                                                                           |
| 3                       | Метод частиц в ячейках. Модифицированные методы частиц в ячейках.                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2            | 1                                                                                       | -        | -                    | -                   | 5         | Рейтинг-контроль №1                                                                                       |
| 4                       | Метод крупных частиц и его модификации. Течения с криволинейными границами.                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2            | 2                                                                                       | -        | -                    | -                   | 5         |                                                                                                           |
| 5                       | Метод конечных элементов в механике жидкости и газа.                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2            | 2                                                                                       | -        | -                    | -                   | 5         |                                                                                                           |
| 6                       | Обобщенное дифференциальное уравнение и метод конечных объемов. Бессеточные методы решения задач гидрогазодинамики.                                                                                                                                                                                                                               | 2            | 2                                                                                       | -        | -                    | -                   | 5         | Рейтинг-контроль №2                                                                                       |
| 7                       | Компьютерные технологии решения задач гидрогазодинамики.                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2            | 6                                                                                       | -        | 2                    | -                   | 10        |                                                                                                           |
| 8                       | Применение численных методов механики жидкости и газа для течений с комплексной геометрией, подвижными границами, двухфазных и химически реагирующих течений.                                                                                                                                                                                     | 2            | 1                                                                                       | -        | -                    | -                   | 2         |                                                                                                           |
| 9                       | Практические технологии решения задач механики жидкости и газа в области поршневых двигателей.                                                                                                                                                                                                                                                    | 2            | 2                                                                                       | -        | 2                    | -                   | 8         | Рейтинг-контроль №3                                                                                       |
| <b>Всего за 2-й год</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |              | <b>20</b>                                                                               | <b>-</b> | <b>4</b>             | <b>-</b>            | <b>48</b> | <b>зачет</b>                                                                                              |

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для формирования и развития профессиональных навыков у аспирантов при проведении лекций и практических занятия, а также при самостоятельной работе применяются следующие образовательные технологии.

При проведении лекций используются электронные средства обучения (ЭСО) в виде комплекта компьютерных слайдов в формате ppt. Использование компьютерных технологий позволяет ввести в образовательный процесс интерактивность, развивающую активные формы обучения. Это обстоятельство позволяет обеспечить эффективность и самостоятельной работы аспирантов.

Для реализации комплексного подхода в учебный процесс также интегрируются интерактивные образовательные технологии, включая информационные и коммуникационные технологии (ИКТ), а также применяются:

- учебные дискуссии;
- методы групповой работы;
- компьютерное моделирование (процессов, объектов и т. п. по профилю дисциплины);
- мультимедийные технологии при проведении учебных занятий.

Целью самостоятельной работы являются формирование личности аспиранта, развитие его способности к самообучению и повышению своего профессионального уровня.

Самостоятельная работа аспирантов заключается в изучении содержания тем курса по конспектам, учебникам и дополнительной литературе, оформлении отчетов по текущему контролю. Она может включать в себя практику подготовки рефератов, презентаций и докладов по ним. Тематика рефератов должна иметь проблемный и профессионально ориентированный характер, требующий самостоятельной творческой работы аспирантов.

Самостоятельная работа аспирантов подкрепляется использованием ресурсов Интернет.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТОВ**

### **Текущий контроль:**

- тестирование;
- отдельно оцениваются личностные качества студента;
- устные опросы в процессе занятий.

**Промежуточная аттестация** по дисциплине проходит в форме сдачи зачета – 2-й год обучения.

### **6.1. Контрольные вопросы для проведения текущего контроля освоения дисциплины**

#### **Рейтинг–контроль № 1**

1. Построение дискретных аналогов дифференциальных уравнений с помощью разложения в ряд Тейлора.
2. Метод конечных разностей. Явные и неявные схемы.
3. Согласованность, сходимость и устойчивость численной схемы.
4. Методика построения численных схем для решения задач одномерного течения жидкости и газа в разветвленных трубопроводах с помощью метода Годунова.
5. Метод частиц в ячейках.

### **Рейтинг–контроль № 2**

1. Метод крупных частиц.
2. Фиктивные и расчетные ячейки. Постановка граничных условий в методах частиц.
3. Использование методов частиц для течений с криволинейными границами.
4. Расчет параметров стационарных течений жидкости и газа методом установления.
5. Применение метода Годунова для решения многомерных задач газовой динамики.
6. Метод конечных элементов в задачах механики жидкости и газа. Преимущества и ограничения.
7. Метод конечных объемов. Обобщённое дифференциальное уравнение. Шахматная сетка. Разности против потока.
8. Алгоритмы численного решения задач механики жидкости и газа методом конечных объемов.

### **Рейтинг–контроль № 3**

1. Бессеточные методы решения задач газовой динамики.
2. Построение расчетных сеток для областей течения с комплексной геометрией.
3. Особенности численного решения задач механики жидкости и газа для областей течения с подвижными границами.
4. Особенности расчета двухфазных течений.
6. Численные методы расчета турбулентных течений.
6. Химически реагирующие течения.
7. Двухфазные течения с фазовыми переходами.

### **6.2. Контрольные вопросы к зачету**

1. Построение дискретных аналогов дифференциальных уравнений с помощью разложения в ряд Тейлора.
2. Метод конечных разностей. Явные и неявные схемы.
3. Согласованность, сходимость и устойчивость численной схемы.
4. Методика построения численных схем для решения задач одномерного течения жидкости и газа в разветвленных трубопроводах с помощью метода Годунова.
5. Метод частиц в ячейках.
6. Метод крупных частиц.
7. Фиктивные и расчетные ячейки. Постановка граничных условий в методах частиц.
8. Использование методов частиц для течений с криволинейными границами.
9. Расчет параметров стационарных течений жидкости и газа методом установления.
10. Применение метода Годунова для решения многомерных задач газовой динамики.
11. Метод конечных элементов в задачах механики жидкости и газа. Преимущества и ограничения.
12. Метод конечных объемов. Обобщённое дифференциальное уравнение. Шахматная сетка. Разности против потока.
13. Алгоритмы численного решения задач механики жидкости и газа методом конечных объемов.
14. Бессеточные методы решения задач газовой динамики.
15. Построение расчетных сеток для областей течения с комплексной геометрией.
16. Особенности численного решения задач механики жидкости и газа для областей течения с подвижными границами.
17. Особенности расчета двухфазных течений.

## 18. Численные методы расчета турбулентных течений.

### 6.3. Самостоятельная работа аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в проработке учебной и научной литературы по теме занятий, поиске и анализе информации, необходимой для подготовки разделов выпускной квалификационной работы (кандидатской диссертации). По заданию преподавателя возможна подготовка и проведение докладов, как на занятиях, так и на научных конференциях университета.

Тематика СР выбирается индивидуально для каждого аспиранта и согласовывается с его научным руководителем.

Содержание СР должно охватывать следующие темы.

1. Построение дискретных аналогов дифференциальных уравнений с помощью разложения в ряд Тейлора.
2. Метод конечных разностей. Явные и неявные схемы.
3. Согласованность, сходимость и устойчивость численной схемы.
4. Методика построения численных схем для решения задач одномерного течения жидкости и газа в разветвленных трубопроводах с помощью метода Годунова.
5. Метод частиц в ячейках.
6. Метод крупных частиц.
7. Фиктивные и расчетные ячейки. Постановка граничных условий в методах частиц.
8. Использование методов частиц для течений с криволинейными границами.
9. Расчет параметров стационарных течений жидкости и газа методом установления.
10. Применение метода Годунова для решения многомерных задач газовой динамики.
11. Метод конечных элементов в задачах механики жидкости и газа. Преимущества и ограничения.
12. Метод конечных объемов. Обобщённое дифференциальное уравнение. Шахматная сетка. Разности против потока.
13. Алгоритмы численного решения задач механики жидкости и газа методом конечных объемов.
14. Бессеточные методы решения задач газовой динамики.
15. Построение расчетных сеток для областей течения с комплексной геометрией.
16. Особенности численного решения задач механики жидкости и газа для областей течения с подвижными границами.
17. Особенности расчета двухфазных течений.
18. Численные методы расчета турбулентных течений.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

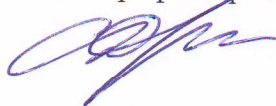
| №<br>п<br>/<br>п          | Автор, название, вид, издательство                                                                                                                                                          | Год издания | Кол-во экз. в биб-ке ВлГУ | Наличие в электронной библиотеке ВлГУ                                                                                           | Кол-во аспирантов, обучающихся по направлению | Обеспеченность аспирантов литературой, % |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1                         | 2                                                                                                                                                                                           | 3           | 4                         | 5                                                                                                                               | 6                                             | 7                                        |
| Основная литература       |                                                                                                                                                                                             |             |                           |                                                                                                                                 |                                               |                                          |
| 1                         | Механика несжимаемых и сжимаемых жидкостей [Электронный ресурс]: учебник для вузов / Зарянкин А.Е. – М.: Изд. Дом МЭИ                                                                       | 2014        | -                         | <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/MPEI226.html">http://www.studentlibrary.ru/book/MPEI226.html</a>                     |                                               |                                          |
| 2                         | Гидростатика. Гидродинамика вязкой жидкости. Практикум с методическими указаниями и решениями [Электронный ресурс]: учебное пособие / Зуева Е.Ю. – М.: Изд. Дом МЭИ                         | 2012        | -                         | <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/MPEI181.html">http://www.studentlibrary.ru/book/MPEI181.html</a>                     |                                               |                                          |
| 3                         | Газовые течения с массоподводом в каналах и трактах энергоустановок [Электронный ресурс] / Волков К.Н., Емельянов В.Н. - М. : ФИЗМАТЛИТ. - 356 с.                                           | 2011        | -                         | <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113502.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113502.html</a> |                                               |                                          |
| Дополнительная литература |                                                                                                                                                                                             |             |                           |                                                                                                                                 |                                               |                                          |
| 1                         | Инженерные расчеты в Solid-Works Simulation [Электронный ресурс]/ Алямовский А. – М.: ДМК Пресс                                                                                             | 2010        | -                         | <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940745860.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940745860.html</a> |                                               |                                          |
| 2                         | Выполнение домашних заданий и курсовых работ по дисциплине «Механика жидкости и газа» [Электронный ресурс]: учебное пособие / Шабловский А.С. – 2-е изд., - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана | 2012        | -                         | <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0277.html">http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0277.html</a>             |                                               |                                          |
| 3                         | Численное моделирование вязких вихревых течений для технических приложений [Электронный ресурс]: Монография / Ахмедов В.К., Шкадов В.Я. – М.: Издательство АСВ                              | 2009        | -                         | <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930936674.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930936674.html</a> |                                               |                                          |

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для проведения лекционных и практических занятий, а также выполнения самостоятельных работ используются специализированные аудитории и лаборатории кафедры, лабораторные учебные стенды, ПК в компьютерной классе кафедры.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального Государственного образовательного стандарта ВО по направлению 13.06.01 «Электро- и теплотехника», направленность (профиль) подготовки «Тепловые двигатели» (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

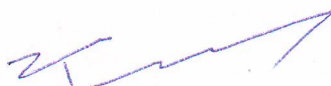
Рабочую программу составил профессор кафедры ТД и ЭУ, д.т.н.



С.Г. Драгомиров

**Рецензент**

главный специалист ООО «ЗИП «КТЗ» г. Владимир  
д.т.н.

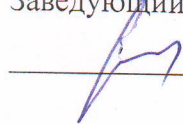


А.Р. Кульчицкий

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ТД и ЭУ

Протокол № 32 от 02.06.2015 года

Заведующий кафедрой «Тепловые двигатели и энергетические установки»

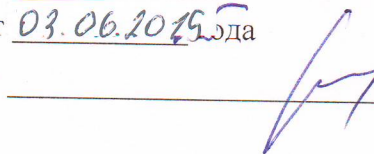


В.Ф. Гуськов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 13.06.01 «Электро- и теплотехника»

Протокол № 1 от 03.06.2015 года

Председатель комиссии



В.Ф. Гуськов

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 2016/2017 учебный год

Протокол заседания кафедры № 2 от 06.09.16 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

В.Ф. Туськов

Рабочая программа одобрена на 2017/2018 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 05.09.17 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

В.Ф. Туськов

Рабочая программа одобрена на 2018/2019 учебный год

Протокол заседания кафедры № 24 от 04.09.18 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_