

Министерство науки и высшего образования РФ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и ИКТ

С.А. Матвеев

2018 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.ДВ.2.1 МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

*(наименование дисциплины)*

### НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ:

01.06.01 -- математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)  
*(указывается код и наименование направления подготовки)*

### НАПРАВЛЕННОСТЬ ПОДГОТОВКИ:

01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

*(указывается наименование направленности)*

КВАЛИФИКАЦИЯ: Исследователь. Преподаватель-исследователь

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ: очная, заочная

ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ: зачет

*(Зачет / Дифференцированный зачет / Экзамен)*

Санкт-Петербург, 2018

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ


РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

01.06.01 Математика и механика


Программу составили: кафедра А9 "Плазмогазодинамика и теплотехника"

Емельянов В.Н., зав. каф., д.т.н., проф. 


Тетерина И.В., доц., к.т.н. 

Эксперт(ы): *Заместитель начальника проектного отдела АО ЦКБ МТ «Рудни»,  
г.п.и. Сухоручков А.Л.* 

Программа рассмотрена на заседании кафедры-разработчика рабочей программы А9 "Плазмогазодинамика и теплотехника", протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Заведующий кафедрой, д.т.н., проф.  /Емельянов В.Н./

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по укрупненной группе направлений и специальностей подготовки (УМК по УГНиСП) 01.00.00 Математика и механика, протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Председатель УМК по УГНиСП, д.ф.-м.н., проф.  /Соколов Е.И./

Учебная дисциплина обеспечена основной литературой

«31» 10 2018 г.

Директор библиотеки  /Сесина Н.В./

## 1 Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю),

Целью освоения дисциплины является достижение следующих результатов образования. Аспирант будет **знать** общее понятие о характере движения сплошной среды, представления об основных подходах описания турбулентного движения, основных методах замыкания, представления о совокупности подходов вычислительного воспроизведения и моделирования, современном состоянии средств вычислительного моделирования; способы описания турбулентных течений, принципы дискретизации математических моделей, основные способы построения разностных схем, имитационное моделирование процессов в среде программно-вычислительных средств; принципы построения средств замыкания математических моделей турбулентного движения, понимание многомасштабности характеристик турбулентности и характерных особенностях процессов в различных диапазонах масштабов; достоинства и недостатки основных подходов теоретического описания турбулентных течений, умение строить модели, учитывающие особенности конкретных течений.

Аспирант будет **уметь** выбрать способ моделирования и провести расчет характеристик течения средствами современного инженерного моделирования в среде пакетов CAE-CAD-CAM технологии.

Аспирант будет **владеть** умением моделировать течения и процессы тепломассопереноса в турбулентных нестационарных потоках средствами пакетов современной вычислительной технологии.

Дисциплина вносит вклад в формирование следующих общих для направления компетенций:

способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

Дисциплина вносит вклад в формирование следующих профессиональных компетенций:

- способностью самостоятельно работать в среде современных пакетов вычислительного моделирования (CAD, CAE системы) при решении задач научных исследований в области механики жидкости, газа и плазмы, и готовностью к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного эксперимента (ПК-1).

- способностью собирать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области науки и техники, способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений механики жидкости газа и плазмы в своей научно-исследовательской деятельности (ПК-5);

### 3. Виды учебной работы и тематическое содержание дисциплины (модуля)

Распределение трудоемкости учебной работы в таблицах представлено для очной и заочной форм обучения в аспирантуре в следующем формате:

число акад. часов для очной формы / число акад. часов для заочной формы.

#### 3.1 Виды учебной работы

Таблица 1

| Вид учебной работы                                     | Трудоемкость,<br>акад. час |
|--|----------------------------|
| Аудиторные занятия,<br>в том числе:                    | 18/4                       |
| Лекционные занятия (ЛЗ)                                | 18/4                       |
| Самостоятельная работа (СР),<br>в том числе:           | 54/68                      |
| Выполнение отдельных исследовательских<br>заданий (ИЗ) | 14/14                      |
| Всего:   | 72/72                      |

#### 3.2. Содержание дисциплины (модуля) по разделам и видам учебной работы

Таблица 2

| №<br>п/п | Раздел дисциплины (модуля)  | Трудоемкость по видам учебной<br>работы (час.) |                      |     |     |   |   |     | ИЗ |
|----------|---|--|----------------------|-----|-----|---|---|-----|----|
|          |   | всего  | очная форма обучения |     |     |   |   |     |    |
|          |   |  | ЛЗ                   | НПЗ | ИЛР | С | К | СР  |    |
| 1        | 2   | 3  | 4                    | 5   | 6   | 7 | 8 | 9   | 10 |
| 1        | Раздел I. Введение.<br>Ламинарное и турбулентное течение.<br>Опыт Рейнольдса<br>Возникновение турбулентности.<br>Турбулентное течение в трубах.<br>Турбулентный пограничный слой<br>пластинки. Простейшие модели<br>замыкания. Понятие турбулентной | 2/2  | 2/0                  |     |     |   |   | 0/2 |    |



| №<br>п/п | Раздел дисциплины (модуля)  | Трудоемкость по видам учебной<br>работы (час.) |                      |     |     |   |   | ИЗ        |       |
|----------|---|--|----------------------|-----|-----|---|---|-----------|-------|
|          |   | всего  | очная форма обучения |     |     |   |   |           |       |
|          |   |  | ЛЗ                   | НПЗ | ИЛР | С | К |           | СР    |
| 5        | Раздел 5. Численная реализация моделей<br>Требования к вычислительным процедурам. Организация программного кода.<br>Метод конечных объемов. Расчет потоков. Невязкие потоки. Вязкие потоки.<br>Дискретизация по времени. Реализация многосеточного подхода.<br>Расчет вязкости и ширины спектра.<br>Начальные и граничные условия. Метод пристеночных функций.<br>Средние параметры и спектр пульсаций. | 7/7  | 2/2                  |     |     |   |   | 5/5       |       |
| 6        | Раздел 6. Расчеты внутренних и струйных турбулентных течений.<br>Канальные течения.<br>Течение в свободном слое смешения.<br>Течение в затопленных струях.<br>Моделирование импактных течений.<br>Аэроакустические и аэрооптические эффекты. Подходы моделирования  | 8/8  | 2/0                  |     |     |   |   | 6/8       |       |
| 7        | Раздел 7.Турбулентные течения химически реагирующих сред.<br>Турбулентность в электрогидродинамических потоках<br>Основные положения.<br>Методы моделирования течений.  | 6/6  | 2/0                  |     |     |   |   | 4/6       |       |
| 8        | Раздел 8. Современные технологии вычислительного моделирования турбулентных течений.<br>Пакеты вычислительной газодинамики. CAD/CAM/CAE – технологии.<br>Пакет Numeca<br>Пакет STAR CD Пакеты Fluent CFX в составе ANSYS<br>Отечественные разработки SINF, GasDynamicsTools, VP2/3  | 28/28  | 4/0                  |     |     |   |   | 10/<br>14 | 14    |
|          | Итого:  | 72/72  | 18/<br>4             |     |     |   |   | 40/<br>54 | 14/14 |

Примечание: ЛЗ – лекционное занятие, НПЗ – научно-практические занятия, ИЛЗ – исследовательские лабораторные занятия работа, С – семинары, К – индивидуальные консультации; СР – самостоятельная работа обучающихся;

### 3.3 Тематика аудиторных занятий

|   |     |  |      |       |
|---|-----|--|------|-------|
|   |     | модели и модели с обращением<br>свертки.<br>Подсеточные потоки   |      |       |
| Раздел 5. Численная<br>реализация моделей   | 5   | Требования к вычислительным<br>процедурам. Организация<br>программного кода.<br>Метод конечных объемов. Расчет<br>потоков. Невязкие потоки. Вязкие<br>потоки.<br>Дискретизация по времени.<br>Реализация многосеточного подхода.<br>Расчет вязкости и ширины спектра.<br>Начальные и граничные условия.<br>Метод пристеночных функций.<br>Средние параметры и спектр<br>пульсаций. | 2/2  | 1,4,5 |
| Раздел 6. Расчеты<br>внутренних и струйных<br>турбулентных течений.   | 6   | Канальные течения.<br>Течение в свободном слое смешения.<br>Течение в затопленных струях.<br>Моделирование импактных течений.<br>Аэроакустические и аэрооптические<br>эффекты. Подходы моделирования   | 2/0  | 1,2,3 |
| Раздел 7. Турбулентные<br>течения химически<br>реагирующих сред.<br>Турбулентность в<br>электрогидродинамических<br>потоках | 7   | Основные положения.<br>Методы моделирования течений.   | 2/0  | 1,7   |
| Раздел 8. Современные<br>технологии<br>вычислительного<br>моделирования<br>турбулентных течений.                            | 8-9 | Пакеты вычислительной<br>газодинамики. CAD/CAM/CAE –<br>технологии.<br>Пакет Numeca<br>Пакет STAR CD Пакеты Fluent CFX<br>в составе ANSYS<br>Отечественные разработки SINF,<br>GasDynamicsTools, VP2/3   | 4/0  | 4     |
| Итого:  |     |  | 18/4 |       |

Программой дисциплины практические / семинарские / лабораторные занятия/ не предусмотрены.

#### 4. Перечень заданий для самостоятельной работы

Таблица 7

| Задания   | Срок выдачи<br>(№ недели) | Срок сдачи<br>(№ недели) | Номера разделов<br>дисциплины<br>(модуля) |
|---|---------------------------|--------------------------|---|
| Выполнение отдельных<br>исследовательских заданий | 4                         | 18                       | Раздел 8.                                 |

### 5.3 Образовательные технологии по дисциплине

Обучение по дисциплине ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

**Лекция (Лк)** – передача учебной информации от преподавателя к аспирантам с использованием компьютерных и технических средств, направленная в основном на приобретение аспирантами новых познавательных, теоретических и фактических знаний.

**Самостоятельная работа (СР)** – изучение аспирантами теоретического материала, подготовка к лекциям, оформление конспектов лекций, написание реферата для приобретения новых теоретических и фактических знаний, теоретических и практических умений.

**Междисциплинарное обучение:** использование знаний из разных областей, их группировка и концентрация в контексте решаемой задачи.

**Индивидуальное обучение** – выстраивание студентом собственной образовательной траектории на основе формирования индивидуальной образовательной программы с учетом интересов студента, в том числе самостоятельный выбор темы и формы доклада реферата.

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационно-телекоммуникационные технологии:

- набор мультимедийных презентаций, демонстрирующих развитие гидрогазодинамических и тепломассообменных процессов в различных технических объектах, полученное средствами вычислительного моделирования. Презентации оформлены в виде компьютерных представлений с включением в них мультимедийных элементов;

- взаимодействие с преподавателем вне часов расписания занятий посредством сети Интернет;

- пакеты ПО общего назначения (текстовые редакторы, графические редакторы);

- специализированное ПО (САЕ-технологии, имеющиеся на кафедре А9 в лицензионном пользовании. Состав пакетов, доступных для лицензионного использования меняется в соответствии с получением или истечением срока лицензии);

- электронная библиотека фундаментальных изданий по теме дисциплины.

---



### 6.3 Электронные (образовательные, информационные, справочные, нормативные и т.п.) ресурсы:

1. Библиотека справочной литературы
2. Электронные ресурсы библиотеки института на сайте [library.voenmeh.ru](http://library.voenmeh.ru)  
Электронно-библиотечная система Юрайт <https://biblio-online.ru/discipline-search>.  
Электронно-библиотечная система Лань <https://e.lanbook.com/>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1 Специализированные лаборатории (в том числе научные) и классы, основное учебное оборудование (комплексы, установки и стенды)

- аудитория 438, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, ноутбук).
- вычислительный класс кафедры А9 в аудитории 439 оборудованный презентационной техникой (проектор, экран, ноутбук) и системами, поддерживающими выполнение параллельных вычислений;

### 7.2 Средства обеспечения освоения дисциплины

- электронные версии разделов конспекта лекций и иного методического материала
- набор мультимедийных презентаций, демонстрирующих развитие гидрогазодинамических и тепломассообменных процессов в различных технических объектах, полученное средствами вычислительного моделирования. Презентации оформлены в виде компьютерных представлений с включением в них мультимедийных элементов
- пакет прикладных программ MATLAB
- пакеты программ САЕ-технологий, имеющиеся на кафедре А9 в лицензионном пользовании. Состав пакетов, доступных для лицензионного использования меняется в соответствии с получением или истечением срока лицензии.