

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета

 (подпись) **Юнаков Л. П.**
 ФИО
 «___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

Направление/специальность подготовки	24.04.03 Баллистика и гидроаэродинамика
Специализация/профиль/программа подготовки	Физическое и вычислительное моделирование теплоаэродинамических и теплогидравлических процессов
Уровень высшего образования	Магистратура
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Кафедра-разработчик рабочей программы	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
5	9	4	144	34	17	0	17	110	36	0	74	ЭКЗ.

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета

 Юнаков Л. П.
 (подпись) ФИО
 «___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

Направление/специальность подготовки	24.04.03 Баллистика и гидроаэродинамика
Специализация/профиль/программа подготовки	Физическое и вычислительное моделирование теплоаэродинамических и теплогидравлических процессов
Уровень высшего образования	Магистратура
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Кафедра-разработчик рабочей программы	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
5	9	4	144	34	17	0	17	110	36	0	74	ЭКЗ.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

24.04.03 Баллистика и гидроаэродинамика

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Овчинникова Ольга Константиновна, к.т.н., доцент

Программа рассмотрена
на заседании кафедры-разработчика
рабочей программы **А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

Программа рассмотрена
на заседании выпускающей кафедры

А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Приложения к рабочей программе дисциплины

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-6 — способность разрабатывать и использовать новые подходы и методы расчета объектов ракетно-космической техники с учетом аэродинамических и баллистических параметров
ПСК-1/24.1 — способность определять состав и назначение систем управления летательных аппаратов в АРКТ, разрабатывать их структуру и алгоритмы работы, формулировать логику их функционирования, проводить анализ и выбор бортовой аппаратуры
ПСК-1/24.2 — способность применять программы и методики проведения экспериментов и компьютерного моделирования, разрабатывать модели и алгоритмы решения задач динамики движения, аэродинамики, баллистики и управления полетом космических и летательных аппаратов с учетом сложности систем на основе применения современных научных знаний

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ОПК-6

знания:

основные принципы и подходы, применяемые в современных специализированных программах;

умения:

строить математические модели физических явлений, использовать математический аппарат и современные информационные технологии; пользоваться современными информационными технологиями для проведения вычислительного моделирования и анализа аэродинамических процессов;

навыки:

принципы применения современных информационных технологий в науке и предметной деятельности; основные методы теоретического и экспериментального исследования физических и химических явлений, методы поиска и обработки информации как вручную, так и с применением современных информационных технологий.

ПСК-1/24.1

знания:

принципы устройства и действия современных образцов АРКТ с учетом аэродинамических и баллистических параметров;

умения:

разрабатывать физико-математические модели в области баллистики и управления полетами аэрокосмических аппаратов;

навыки:

проведение теоретического и вычислительного исследования физических явлений; проведения типовых гидрогазодинамических расчетов.

ПСК-1/24.2

знания:

теоретические основы высокоскоростного движения тел в воде и воздухе;

умения:

анализировать результаты вычислительного эксперимента с привлечением методов информационных технологий; использовать математический аппарат и информационные технологии при изучении естественнонаучных дисциплин;

навыки:

составление математических моделей динамики объектов при движении в газах и жидкостях; использование современного специализированного программного обеспечения для решения гидрогазодинамических задач.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 24.04.03 *Баллистика и гидроаэродинамика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания физико-математической подготовки бакалавра и служит основой для освоения дисциплин: **БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ**

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-6	ПСК-1/24.1	ПСК-1/24.2
5	9	Раздел 1. Течения в атмосфере и океане. Гравитационное поле Земли. Основы течений в атмосфере и океане. Основные уравнения во вращающейся системе. Геострофное течение. Сила Экмана. Слой Прандтля. Фигура Земли и её модели. Потенциал силы земного тяготения и его представления. Однородное плоскопараллельное поле. Центральное (ньютоновское) поле. Геоид, общий земной эллипсоид, референц-эллипсоид.	40	10	5	5	30	30	30	30
5	9	Раздел 2. Аэродинамические силы и моменты. Уравнения движения в начальной стартовой системе координат. Системы координат. Геоцентрическая сферическая система координат. Стартовая система координат. Связанная система координат. Скоростная система координат. Матрицы перехода между системами координат. Органы управления для создания управляющих сил и моментов. Тяга двигателя. Изменение тяги двигателя по высоте. Движение центра масс. Составляющие гравитационного ускорения. Составляющие тяги двигателей и аэродинамической силы. Уравнения движения ЛА относительно центра масс.	52	12	6	6	40	30	30	30
5	9	Раздел 3. Особенности высокоскоростного движения тел в воздухе и воде. Процессы, характеризующие сверх- и гиперзвуковое движение летательных аппаратов. Математическая модель гиперзвукового обтекания тела потоком воздуха. Особенности численного моделирования высокоскоростного движения тел в воздухе. Сверхзвуковое движение тел в воде. Высокоскоростное движение суперкавитирующих тел в воде и их взаимодействия с подводными преградами.	52	12	6	6	40	40	40	40
Всего за 9 семестр			144	34	17	17	110	100	100	100
Всего по дисциплине			144	34	17	17	110	100	100	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Течения в атмосфере и океане. Гравитационное поле Земли.	Движение тела в гравитационном поле Земли. Стандартная атмосфера и модель вариаций ее параметров. Сезонно-широтные и суточные вариации плотности. Поле ветров. Матрицы перехода между системами координат.	5
2	Раздел 2. Аэродинамические силы и моменты. Уравнения движения в начальной стартовой системе координат.	Принципы работы современных силовых установок летательных аппаратов. органы управления.	6
3	Раздел 3. Особенности высокоскоростного движения тел в воздухе и воде.	Моделирование течений с химическими реакциями. Сопоставление сверхзвукового движения тел в воздухе и в воде.	6
Всего за 9 семестр			17

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Течения в атмосфере и океане. Гравитационное поле Земли.	Изучение дидактических единиц данного раздела, работа с литературой.	30
2	Раздел 2. Аэродинамические силы и моменты.	Изучение дидактических единиц	40

	Уравнения движения в начальной стартовой системе координат.	данного раздела, работа с литературой.	
3	Раздел 3. Особенности высокоскоростного движения тел в воздухе и воде.	Моделирование высокоскоростного движения тел в воздухе	40
Всего за 9 семестр			110

3.4. Курсовой проект

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Аналитический обзор работ по тематике, определенной индивидуальным заданием. Выбор объекта и предмета исследования.	1 - 4	6
Этап 2. Формулировка математической, геометрической, численной модели рассматриваемых процессов и явлений. Обоснование принятых допущений. Уточнение расчетной схемы. Исследование сеточной сходимости.	5 - 10	12
Этап 3. Проведение вычислительных экспериментов. Анализ полученных результатов.	11 - 15	12
Этап 4. Формулирование выводов по работе. Оформление пояснительной записки, подготовка презентации и доклада. Защита курсового проекта.	16 - 17	6
Всего за 9 семестр		36

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
9						ДР			Реф	ДР					ИПЗ	ДР	

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Реф – реферат;
- ИПЗ – индивидуальное практическое задание.

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- реферат;
- индивидуальное практическое задание.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, А. В. Сотенко. . Внешняя баллистика. Новосибирск: НГТУ, 2017, эл. рес.
2. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012, 63 экз.
3. Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018, эл. рес.
4. Л. Прандтль. . Гидроаэромеханика. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2000, эл. рес.
5. О. А. Толпегин. . Экспериментальная баллистика. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015, 60 экз.
6. О. К. Овчинникова, И. В. Тетерина, А. В. Суров. . Течение газа с частицами. Санкт-Петербург: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2024, 27 экз.
7. О. К. Овчинникова, М. М. Лаптинская, И. В. Тетерина. . Решение прикладных задач термогазодинамики в Ansys. СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2023, эл. рес.
8. Ю. Г. Сихарулидзе. . Баллистика летательных аппаратов. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982, 42 экз.
9. Ю. Г. Сихарулидзе. . Баллистика и наведение летательных аппаратов. М.: Лаборатория знаний, 2020, эл. рес.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. О. К. Овчинникова, М. М. Лаптинская, И. В. Тетерина. . Численное моделирование газовых смесей и двухфазных течений. СПб.: НИЦ АРТ, 2022, 1 экз.

5.3. Периодические издания:

1. Естественные и технические науки.

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://ura.it.ru/> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов;
2. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
3. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=474 — Библиотечно-издательский центр БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
3. <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

1. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
2. Microsoft Office;
3. SolidWorks 2015 R5;
4. КОМПАС-3D V17.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Лекционные занятия:

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

6.2. Практические занятия:

1. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
2. Microsoft Office;
3. SolidWorks 2015 R5;
4. КОМПАС-3D V17.

6.3. Прочее:

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению **24.04.03 Баллистика и гидроаэродинамика**. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-6 способность разрабатывать и использовать новые подходы и методы расчета объектов ракетно-космической техники с учетом аэродинамических и баллистических параметров;

ПСК-1/24.1 способность определять состав и назначение систем управления летательных аппаратов в АРКТ, разрабатывать их структуру и алгоритмы работы, формулировать логику их функционирования, проводить анализ и выбор бортовой аппаратуры;

ПСК-1/24.2 способность применять программы и методики проведения экспериментов и компьютерного моделирования, разрабатывать модели и алгоритмы решения задач динамики движения, аэродинамики, баллистики и управления полетом космических и летательных аппаратов с учетом сложности систем на основе применения современных научных знаний.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с особенностями моделирования процессов, сопровождающих высокоскоростное движение тел в воде и воздухе.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- реферат;
- индивидуальное практическое задание.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**17 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**110 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 34 ч. аудиторных занятий, и 110 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Течения в атмосфере и океане. Гравитационное поле Земли.		
Изучение дидактических единиц данного раздела, работа с литературой.	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012 (1-6) Л. Прандтль. . Гидроаэромеханика: Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2000 (все)	30
Итого по разделу 1		30
Раздел 2. Аэродинамические силы и моменты. Уравнения движения в начальной стартовой системе координат.		
Изучение дидактических единиц данного раздела, работа с литературой.	Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018 (2-4) А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, А. В. Сотенко. . Внешняя баллистика: Новосибирск: НГТУ, 2017 (1) О. А. Толпегин. . Экспериментальная баллистика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (1) Ю. Г. Сихарулидзе. . Баллистика летательных аппаратов: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982 (1) Ю. Г. Сихарулидзе. . Баллистика и наведение летательных аппаратов: М.: Лаборатория знаний, 2020 (1)	40
Итого по разделу 2		40
Раздел 3. Особенности высокоскоростного движения тел в воздухе и воде.		
Моделирование высокоскоростного движения тел в воздухе	О. К. Овчинникова, М. М. Лаптинская, И. В. Тетерина. . Численное моделирование газовых смесей и двухфазных течений: СПб.: НИЦ АРТ, 2022 (1-2) О. К. Овчинникова, И. В. Тетерина, А. В. Суров. . Течение газа с частицами: Санкт-Петербург: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2024 (1-3) О. К. Овчинникова, М. М. Лаптинская, И. В. Тетерина. . Решение прикладных задач термогазодинамики в Ansys: СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2023 (1-3)	40
Итого по разделу 3		40

