

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан физико-технического ф-та  
профессор Э.Р. Шрагер



2016 г.

Рабочая программа дисциплины

**ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ В АЭРОДИНАМИКЕ**

Направление подготовки

**24.04.03 – Баллистика и гидроаэродинамика**

Наименование магистерской программы

Динамика полета и управление движением ракет и космических аппаратов

Квалификация (степень) выпускника

Магистр

Форма обучения

очная

Томск 2016

## **1. Код и наименование дисциплины (модуля)**

Б1.Б.8 – Численные методы в аэродинамике

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

Дисциплина относится к базовой части ООП, обязательна для изучения.

Целями освоения учебной дисциплины «**Численные методы в аэродинамике**» являются:

– овладение студентами фундаментальными основами знаний теории и практики исследований в области аэродинамики, методами расчета движения газа около твердого недеформируемого тела при до- и сверхзвуковых скоростях в рамках различных газодинамических подходов с определением области применения того или иного метода, методами расчета сил и моментов, действующих на летательный аппарат во время полета.

– подготовка их к решению комплекса задач, связанных с построением математических моделей и определением характеристик летательных аппаратов, проведением расчетных работ, анализа состояния исследуемого вопроса и определения направления исследований.

## **3. Год/годы и семестр/семестры обучения.**

Первый год и первый семестр обучения

## **4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).**

Настоящая дисциплина логически и содержательно - методически связана с предшествующими дисциплинами, такими как «Физика», «Математика», «Теоретическая механика», «Информатика», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Функциональный анализ», «Методы математической физики».

Курс, наряду с другими дисциплинами магистратуры, способствует приобретению навыков в проведении аэродинамического расчета, осмыслению принципиальных основ научно-исследовательской работы.

Дисциплина «Численные методы в аэродинамике» опирается на дисциплины «Дифференциальные уравнения», «Численные методы», «Методы математической физики», «Аэрогидродинамика», «Динамика движения тел в жидкостях и газах».

Для изучения и понимания материала данной дисциплины обучающийся должен знать математический анализ, теорию обыкновенных дифференциальных уравнений, основы линейной алгебры, численные методы технической физики.

Лица, имеющие диплом бакалавра по направлению подготовки Баллистика и гидроаэродинамика и желающие освоить данную магистерскую программу.

**5. Общая трудоемкость дисциплины (модуля)** составляет 3 зачетных единиц, 108 часов, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (10 часов – занятия лекционного типа, 24 часа – занятия семинарского типа, 74 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

## **6. Формат обучения**

Дисциплина реализуется в форме аудиторного обучения

**7. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (заполняется в соответствии с картами компетенций)**

<b>Формируемые компетенции</b> <i>(код компетенции, уровень (этап) освоения)</i>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>
<p>Выпускник должен обладать способностью осознавать основные проблемы своей предметной области, при решении которых возникает необходимость в сложных задачах выбора, требующих использования количественных и качественных методов (ОПК-4);</p>	<p>З (ОПК-4) – <b>1 Знать:</b> Основные физические закономерности, лежащие в основе расчета аэродинамических характеристик  У (ОПК-4) – <b>1 Уметь</b> использовать фундаментальные научные знания в качестве основы инженерной деятельности  В (ОПК-4) – <b>1 Владеть</b> способностью применять фундаментальные научные знания для описания аэродинамических процессов</p>
<p>Выпускник должен обладать готовностью осуществлять научный поиск и разработку новых перспективных подходов и методов к решению профессиональных задач, стремление к профессиональному росту, к активному участию в научной деятельности, конференциях и симпозиумах (ОПК-5);</p>	<p>З (ОПК-5) – <b>1 Знать:</b> области применимости различных методов исследований  У (ОПК-5) – <b>1 Уметь</b> формулировать сложные инженерные задачи в области аэродинамики на основе профессиональных знаний  В (ОПК-5) – <b>1 Владеть</b> методами решения и анализа задач аэродинамики на основе профессиональных знаний</p>
<p>Выпускник должен обладать владением методами анализа и синтеза изучаемых явлений и процессов и способностью критически резюмировать информацию (ПК-14);</p>	<p>З (ПК-14) – <b>1 Знать</b> основные методы, лежащие в основе постановки задач аэродинамики.  У(ПК-14) – <b>1 Уметь</b> составлять математические модели задач, аэродинамики.  В(ПК-14) – <b>1 Владеть</b> способностью находить способы решения задач аэродинамики и интерпретировать физический смысл полученного математического результата</p>

## 8. Содержание дисциплины (модуля) и структура учебных видов деятельности

№ п/ п	Наименование разделов и тем	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа (час.)			Сам. Рабо- та студ.
				Лекции	Семинары и практич. зан.	Консуль- тации	
1	Задачи исследования течений газа около твердого тела. Соотношение газодинамического и экспериментального подходов. Роль аэродинамических исследований в охране окружающей среды.	1	1	1	1		10
2	Аэродинамические силы и моменты. Силовое воздействие газа на движущееся в нем тело. Законы подобия и размерностей в аэродинамике. Основные соотношения для аэродинамических характеристик в условиях подобия	1	2-3	1	3		10
3	Приближенные аналитические методы. Метод "местных конусов". Метод "ньютонова торможения". Ограничения приближенных аналитических методов.	1	4-5	1	3		10
4	Метод характеристик. Задача Коши. Уравнения характеристик. Построение характеристик (аналитическое, численное). Характеристические поверхности. Схема решения газодинамических задач методом характеристик. Проблемы и область применения метода характеристик	1	6-9	1	7		10
5	Конечно-разностные методы.	1	10-13	2	6		10

	Методы построения разностных схем для уравнений газовой динамики. Однородные разностные схемы. Консервативные схемы. Искусственная вязкость. Схемы Лакса, Лакса-Вендрофа, Годунова.					
6	Методы "расщепления" в задачах газовой динамики. Подход Эйлера-Лагранжа-Харлоу. Метод "крупных частиц". Эйлера и Лагранжевы этапы расчета. Граничные условия. Свободные и контактные границы. Вычислительная устойчивость метода. Аппроксимационная вязкость.	1	14-15	2	2	12
7	Нестационарная аэродинамика. Неустановившееся сверхзвуковое обтекание тел. Свойства аэродинамических производных. Приближенные методы определения нестационарных аэродинамических характеристик. Гипотезы гармоничности и стационарности.	1	16-17	2	2	12
	Всего часов			10	24	74
	У.Е.	3				

**9. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю) и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю).**

Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов состоит:

- в изучении теоретических разделов курса с помощью литературы, предлагаемой лектором из основного и дополнительного списка.
- в подготовке и написании рефератов.

**Темы рефератов.**

1. Задачи исследования течений газа около твердого тела. Соотношение газодинамического и экспериментального подходов. Роль аэродинамических исследований в охране окружающей среды.

2. Аэродинамические силы и моменты. Силовое воздействие газа на движущееся в нем тело.

3. Законы подобия и размерностей в аэродинамике. Основные соотношения для аэродинамических характеристик в условиях подобия.
4. Приближенные аналитические методы. Метод "местных конусов".
5. Метод "ньютонова торможения". Ограничения приближенных аналитических методов.
6. Метод характеристик. Задача Коши. Уравнения характеристик.
7. Построение характеристик (аналитическое, численное). Характеристические поверхности.
8. Схема решения газодинамических задач методом характеристик. Проблемы и область применения метода характеристик.
9. Конечно-разностные методы. Методы построения разностных схем для уравнений газовой динамики.
10. Однородные разностные схемы. Консервативные схемы. Искусственная вязкость.
11. Схемы Лакса, Лакса-Вендрофа.
12. Схема С.К. Годунова.
13. Методы "расщепления" в задачах газовой динамики. Подход Эйлера-Лагранжа-Харлоу.
14. Метод "крупных частиц". Эйлеров и Лагранжевы этапы расчета. Граничные условия. Свободные и контактные границы.
15. Вычислительная устойчивость метода. Аппроксимационная вязкость.
16. Нестационарная аэродинамика. Неустановившееся сверхзвуковое обтекание тел. Свойства аэродинамических производных.
17. Приближенные методы определения нестационарных аэродинамических характеристик. Гипотезы гармоничности и стационарности.

**10. Форма промежуточной аттестации и фонд оценочных средств, включающий:**

- Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина (модуль), и их карты (*карты компетенций приводятся целиком вместе с критериями оценивания*).

## КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

Шифр и название КОМПЕТЕНЦИИ

**ОПК-4 – способность осознавать основные проблемы своей предметной области, при решении которых возникает необходимость в сложных задачах выбора, требующих использования количественных и качественных методов**

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

**Общепрофессиональная компетенция** выпускника образовательной программы магистратуры по направлению «Баллистика и гидроаэродинамика»

**ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ**

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы магистратуры, должен:

**ЗНАТЬ:** основные фундаментальные знания в механике сплошной среды

**УМЕТЬ:** осуществлять отбор материала, характеризующего достижения механике сплошной среды с учетом специфики направления подготовки.

**ВЛАДЕТЬ:** методами и технологиями решения задач математической физики.

**ПЛАНРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ ОПК-4  
И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ**

Критерии оценивания результатов обучения					
Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<p><b>ЗНАТЬ:</b> Основные физические закономерности, лежащие в основе расчета аэродинамических характеристик Шифр: З (ОПК-4) –1</p>	Отсутствие знаний.	Фрагментарные знания физических закономерностей, лежащих в основе расчета аэродинамических характеристик	Общие, но не структурированные знания физических закономерностей, лежащих в основе расчета аэродинамических характеристик	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания физических закономерностей, лежащих в основе расчета аэродинамических характеристик	Сформированные системные знания физических закономерностей, лежащих в основе расчета аэродинамических характеристик
<p><b>Уметь</b> использовать фундаментальные научные знания в качестве основы инженерной деятельности Шифр: У (ОПК-4) –1</p>	Отсутствие умений.	Частично освоенное умение использовать фундаментальные научные знания в качестве основы инженерной деятельности	В целом успешное, но не систематическое применение умений использовать фундаментальные научные знания в качестве основы инженерной деятельности	В целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками умение использовать фундаментальные научные знания в качестве основы инженерной деятельности	Сформированное умение использовать фундаментальные научные знания в качестве основы инженерной деятельности



Критерии оценивания результатов обучения					
<b>Планируемые результаты обучения</b> (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)  <b>Владеть способностью применять фундаментальные научные знания для описания аэродинамических процессов</b> Шифр: В (ОПК-4) –1	1	2	3	4	5
	Отсутствие навыков.	Частичное освоение технологий применять фундаментальные научные знания для описания аэродинамических процессов	В целом успешное, но не систематическое владение способностью применять фундаментальные научные знания для описания аэродинамических процессов	В целом успешное, но сопровождающееся незначительными ошибками владение способностью применять фундаментальные научные знания для описания аэродинамических процессов	Успешное и систематическое умение применять фундаментальные научные знания для описания аэродинамических процессов

## КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

Шифр и название КОМПЕТЕНЦИИ

**ОПК-5 – обладать готовностью осуществлять научный поиск и разработку новых перспективных подходов и методов к решению профессиональных задач, стремление к профессиональному росту, к активному участию в научной деятельности, конференциях и симпозиумах**

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

**Общепрофессиональная компетенция** выпускника образовательной программы магистратуры по направлению «Баллистика и гидроаэродинамика»

**ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ**

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы магистратуры, должен:

**ЗНАТЬ:** основные фундаментальные знания в механике сплошной среды

**УМЕТЬ:** осуществлять отбор материала, характеризующего достижения механике сплошной среды с учетом специфики направления подготовки.

**ВЛАДЕТЬ:** методами и технологиями решения задач математической физики.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ ОПК-5  
И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ**

Критерии оценивания результатов обучения				
1	2	3	4	5
<p><b>Планируемые результаты обучения</b> (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)</p> <p><b>ЗНАТЬ:</b> области применимости различных методов исследований Шифр: З (ОПК-5) –1</p>	<p>Фрагментарные знания области применимости различных методов исследований</p>	<p>Общие, но не структурированные знания области применимости различных методов исследований</p>	<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания области применимости различных методов исследований</p>	<p>Сформированные системные знания области применимости различных методов исследований</p>
<p><b>Уметь</b> формулировать сложные инженерные задачи в области аэродинамики на основе профессиональных знаний Шифр: У (ОПК5) –1</p>	<p>Фрагментарное умение формулировать сложные инженерные задачи в области аэродинамики на основе профессиональных знаний</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое применение умений формулировать сложные инженерные задачи в области аэродинамики</p>	<p>В целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками умение формулировать сложные инженерные задачи в области аэродинамики</p>	<p>Сформированное умение формулировать сложные инженерные задачи в области аэродинамики на основе профессиональных знаний</p>

Критерии оценивания результатов обучения					
Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<p><b>Владеть</b> методами решения и анализа задач аэродинамики на основе профессиональных знаний</p> <p>Шифр: В (ОПК-5) –1</p>	Отсутствие навыков.	Фрагментарное освоение методов решения и анализа задач аэродинамики на основе профессиональных знаний	В целом успешное, но не систематическое владение методами решения и анализа задач аэродинамики на основе профессиональных знаний	В целом успешное, но сопровождается незначительными ошибками владения методами решения и анализа задач аэродинамики на основе профессиональных знаний	Успешное и систематическое владение методами решения и анализа задач аэродинамики на основе профессиональных знаний

## КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

Шифр и название КОМПЕТЕНЦИИ

**ПК-14 – обладать владением методами анализа и синтеза изучаемых явлений и процессов и способность критически резюмировать информацию**

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

**Профессиональная компетенция** выпускника образовательной программы магистратуры по направлению «Баллистика и гидроаэродинамика»

**ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ**

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы магистратуры, должен:

**ЗНАТЬ:** основные фундаментальные знания в механике сплошной среды

**УМЕТЬ:** осуществлять отбор материала, характеризующего достижения механике сплошной среды с учетом специфики направления подготовки.

**ВЛАДЕТЬ:** методами и технологиями решения задач математической физики.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ ПК-14  
И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ**

Критерии оценивания результатов обучения				
1	2	3	4	5
<p><b>Планируемые результаты обучения</b> (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)</p> <p><b>Знать</b> основные методы, лежащие в основе постановки задач аэродинамики. Шифр:З (ПК-14) – 1</p>	<p>Фрагментарное знание основных методов, лежащих в основе постановки задач аэродинамики.</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое знание основных методов, лежащих в основе постановки задач аэродинамики</p>	<p>В целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками знание основных методов, лежащих в основе постановки задач аэродинамики</p>	<p>Сформированное знание основных методов, лежащих в основе постановки задач аэродинамики</p>
<p><b>Уметь</b> составлять математические модели задач аэродинамики Шифр: У (ПК-14) – 1</p>	<p>Фрагментарное умение составлять математические модели задач, аэродинамики</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение составлять математические модели задач, аэродинамики</p>	<p>В целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками умение составлять математические модели задач аэродинамики</p>	<p>Сформированное умение составлять математические модели задач, аэродинамики</p>

<b>Планируемые результаты обучения</b> (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>				
	1	2	3	4	5
<b>Владеть</b> способностью находить способы решения задач аэродинамики и интерпретировать физический смысл полученного математического результата Шифр: В (ПК-14) –1	Отсутствие навыков.	Фрагментарное освоение способности находить способы решения задач аэродинамики и интерпретировать физический смысл полученного математического результата	В целом успешное, но не систематическое владение способностью находить способы решения задач аэродинамики и интерпретировать физический смысл полученного математического результата	В целом успешное, но сопровождающееся незначительными ошибками владение способностью находить способы решения задач аэродинамики и интерпретировать физический смысл полученного математического результата	Успешное и систематическое владение способностью находить способы решения задач аэродинамики и интерпретировать физический смысл полученного математического результата

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций (знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности) должны соответствовать указанным в п.6 настоящего документа и соответствовать картам компетенций)

### **Вопросы самоконтроля знаний.**

1. Задачи исследования течений газа около твердого тела. Соотношение газодинамического и экспериментального подходов. Роль аэродинамических исследований в охране окружающей среды.

2. Аэродинамические силы и моменты. Силовое воздействие газа на движущееся в нем тело.

3. Законы подобия и размерностей в аэродинамике. Основные соотношения для аэродинамических характеристик в условиях подобия.

4. Приближенные аналитические методы. Метод "местных конусов".

5. Метод "ньютонова торможения". Ограничения приближенных аналитических методов.

6. Метод характеристик. Задача Коши. Уравнения характеристик.

7. Построение характеристик (аналитическое, численное). Характеристические поверхности.

8. Схема решения газодинамических задач методом характеристик. Проблемы и область применения метода характеристик.

9. Конечно-разностные методы. Методы построения разностных схем для уравнений газовой динамики.

10. Однородные разностные схемы. Консервативные схемы. Искусственная вязкость.

11. Схемы Лакса, Лакса-Вендрофа.

12. Схема С.К. Годунова.

13. Методы "расщепления" в задачах газовой динамики. Подход Эйлера-Лагранжа-Харлоу.

14. Метод "крупных частиц". Эйлеров и Лагранжев этапы расчета. Граничные условия. Свободные и контактные границы.

15. Вычислительная устойчивость метода. Аппроксимационная вязкость.

16. Нестационарная аэродинамика. Неустановившееся сверхзвуковое обтекание тел. Свойства аэродинамических производных.

17. Приближенные методы определения нестационарных аэродинамических характеристик. Гипотезы гармоничности и стационарности.

- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения.

На основе содержания курса, по каждому из разделов сформулированы вопросы, обсуждаемые в ходе работы с преподавателем. Круг вопросов может выходить за рамки содержания данной дисциплины и касается изложения курсов, перечисленных в раз-



деле 4 настоящей программы. Уровень подготовки обучающегося и его оценка выявляются в результате собеседований, обсуждения хода подготовки рефератов. Самостоятельная работа студентов опирается на ряд учебных пособий. В основе итоговой оценки лежит качество освоения разделов дисциплины с учётом степени активности каждого слушателя в ходе проведения семинаров.

## 11. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы.

### а) основная литература

1. Богоряд И.Б. Введение в динамику ракет. – Томск: изд-во Том. Ун-та, 2013. – 136с. <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vtls:000467066/SOURCE1> (дата обращения: 06.04.2015).
2. Зализняк В. Е. Численные методы. Основы научных вычислений : учебник и практикум / В. Е. Зализняк. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2016. – 356 с. – Режим доступа ЭБС Лань: <https://www.biblio-online.ru/book/95164B7A-CFD6-4F43-9CF8-02E9A7B707BE>
3. Абакумов М. В. Лекции по численным методам математической физики : учебное пособие / М. В. Абакумов, А. В. Гулин ; Мос. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Факультет вычислительной математики и кибернетики. – М. : ИНФРА-М, 2013. – 157 с.: ил. – URL: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=364601>
4. Башкин В. А. Численное исследование задач внешней и внутренней аэродинамики / В. А. Башкин, И. В. Егоров. – М.: Физматлит, 2013. – 331 с.

### б) дополнительная литература

1. Тихонов А. Н. Уравнения математической физики : [учебное пособие для вузов] / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – Изд. 5-е, стереотип. – М. : Наука, 1977. – 735 с.: ил.
2. Рихтмайер Р. Разностные методы решения краевых задач / Р. Рихтмайер, К. Мортон; под ред. Б. М. Будака, А. Д. Горбунова. – М. : Мир, 1972. – 418с.
3. Ковеня В. М., Яненко Н.Н. Метод расщепления в задачах газовой динамики / В. М. Ковеня, Н. Н. Яненко ; отв. ред. Ю. И. Шокин. – Новосибирск : Наука, 1981. – 304с.
4. Рихтмайер Р. Принципы современной математической физики / Р. Рихтмайер ; пер. с англ. В. Е. Кондрашова и др. ; под ред. И. Д. Софронова. – М. : Мир, 1982. – 486 с.
5. Арсенин В. Я. Методы математической физики и специальные функции : учебное пособие для студентов вузов. – М. : Наука, 1974. – 432 с.: ил.

- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет. Все виды информационных ресурсов Научной библиотеки ТГУ. Информационные источники сети Интернет.
  - Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости).
- Технология поиска необходимой информации в традиционной форме, в форме

электронных баз данных, в сети Интернет. Работа с научно-технической литературой. Использование материалов, представленных в ранее изученных дисциплинах. Анализ и компоновка собранных материалов в виде доклада и рефератов на заданную тему. Анализ результатов дискуссии. Изучение содержания докладов по рефератам.

Программное обеспечение курсов, предшествующих изучению данной дисциплины  
Компьютерные классы физико-технического факультета

- Описание материально-технической базы.

**МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Вычислительный кластер ТГУ (суперкомпьютер) "СкифCyberia". Сверхзвуковая Аэродинамическая труба. Набор демонстрационных установок.

## **12. Язык преподавания.**

Русский.

## **13. Преподаватель (преподаватели)**

Зав. каф. Динамики полета, д. физ.-мат. наук,



В.И. Биматов

Программа одобрена на заседании ученого совета физико-технического факультета ТГУ от 1.07.2016 года, протокол № 46