

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.1.1 Газодинамика старта

(наименование дисциплины)

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ: 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника»

(указывается код и наименование направления подготовки)

НАПРАВЛЕННОСТЬ ПОДГОТОВКИ: 05.07.06 «Наземные комплексы, стартовое оборудование и эксплуатация летательных аппаратов»

(указывается наименование направленности)

КВАЛИФИКАЦИЯ: Исследователь. Преподаватель-исследователь

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ: очная

ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ: зачет

(Зачет / Дифференцированный зачет / Экзамен)

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника»

(указывается индекс и наименование направления/специальности)

Программу составили:

Кафедра A4 Стартовые и технические комплексы ракет и космических аппаратов

Синильщиков В.Б., доцент, к.т.н., доцент

Ф.И.О., должность, ученая степень, ученое звание

Эксперт(ы):

Зам. дир. науч.-тех. комплекса по науч. работе - начальник  
технико-исследовательского отдела НО ИИП «Ракетник», к.т.н. Сидоров Машаков В.В.

Программа рассмотрена на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы A4 Стартовые и технические комплексы ракет и космических аппаратов

(индекс и наименование кафедры-разработчика рабочей программы)

«31» 10 2018 г. Заведующий кафедрой A4 Долбенков В.Г. к.т.н. /

(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание)

(подпись)

Рабочая программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по укрупненной группе направлений и специальностей подготовки (УМК по УГНиСП) 240000 Авиационная и ракетно-космическая техника

(индекс)

(полное наименование направления) (№ протокола)

«31» 10 2018 г. Председатель УМК по УГНиСП Сырцев А.Н., д.вн, снс/

(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание)

(подпись)

Учебная дисциплина обеспечена основной литературой

«31» 10 2018 г. Директор библиотеки Сесина Н.В.

(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание)

(подпись)



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

Целью освоения дисциплины является изучение физических процессов и явлений, определяющих газодинамические нагрузки, действующие при старте ракет на элементы стартового комплекса и саму ракету, методов их определения и способов снижения.

Дисциплина вносит вклад в формирование следующих общепрофессиональных для направления компетенций:

- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области авиационной и ракетно-космической техники (ОПК-1);
- владение культурой научного исследования в области авиационной и ракетно-космической техники, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области авиационной и ракетно-космической техники с учетом правил соблюдения авторских прав (ОПК-3).

Дисциплина вносит вклад в формирование следующих профессиональных компетенций:

- способностью собирать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области ракетно-космической техники и технологии (ПК-1);
- способностью и готовностью с помощью компьютерной техники планировать и проводить научные эксперименты, обрабатывать, анализировать и оценивать результаты исследований, способностью с помощью компьютерной техники обрабатывать, анализировать, синтезировать и критически резюмировать информацию (ПК-2);
- способностью принимать участие в фундаментальных и прикладных исследованиях по решению проблем, возникающих при проектировании и опытно-конструкторских разработках (ПК-3);
- способностью и готовностью разрабатывать математические модели, описывающие процессы, происходящие в разрабатываемых ракетно-космических комплексах, выбирать методы их решений и анализировать полученные результаты (ПК-5);

В результате освоения дисциплины (модуля) аспиранты будут:  
знать:

- научно-технические основы газодинамики старта ракет;
- основные понятия и методологию газодинамики старта и способы снижения воздействия на элементы стартового комплекса и стартующую ракету;

уметь:

- анализировать результаты экспериментальных и численных исследований газодинамических и двухфазных течений при старте, силовых, тепловых и иных нагрузок на элементы стартового комплекса и стартующую ракету;
- обосновывать способы снижения газодинамических нагрузок на ракету и элементы стартового комплекса;

владеть:

- навыками использования научной и справочной литературы при проведении расчетов и экспериментальных исследований, анализе результатов и выборе способов снижения нагрузок;
- навыками организации и проведения расчетов и физического эксперимента в области газодинамики старта;

приобретут опыт деятельности:

- проведения расчетов в области газодинамики старта;
- анализа результаты экспериментальных и численных исследований газодинамических и двухфазных течений при старте;

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре программы аспирантуры

Дисциплина относится к базовой части программы аспирантуры.

Трудоёмкость освоения дисциплины составляет 2 зачетных единицы (з.е.) или 72 академических часов (час), в том числе 2 часа аудиторных занятий и 70 часов самостоятельной работы. Дисциплина имеет теоретический характер и ориентирована на профессиональную подготовку аспиранта

Изучение дисциплины опирается на знания, умения и навыки, приобретенные в предшествующих дисциплинах: «Численные методы проектирования», «Механика жидкости и газа», «Струйные течения», «Инженерные пакеты прикладных программ».

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

### 3.1 Виды учебной работы

Таблица 1

| Вид учебной работы  | Трудоемкость, акад. час |
|---|-------------------------|
| <b>Аудиторные занятия, в том числе:</b>                       | <b>2</b>                |
| Лекционные занятия (ЛЗ)                                       | 2                       |
| Научно-практические занятия (НПЗ)                             | -                       |
| Семинары (С)  | -                       |
| Исследовательские лабораторные работы (ИЛР)                   | -                       |
| Индивидуальные консультации (К)                               | -                       |
| <b>Самостоятельная работа (СР), в том числе:</b>              | <b>70</b>               |
| Выполнение комплексных расчетно-исследовательских работ (РИР) | 10                      |
| Выполнение отдельных исследовательских заданий (ИЗ)           | -                       |
| Подготовка рефератов (Р)                                      | -                       |
| Самостоятельное изучение тем с использованием литературы (СИ) | 60                      |
| <b>Всего:</b>   | <b>72</b>               |



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

Таблица 2

| №<br>п/п | Раздел дисциплины (модуля)  | Трудоемкость по видам учебной работы<br>(час.) |                      |     |     |   |   |    | Формы<br>самостоя-<br>тельной<br>работы |
|----------|---|--|----------------------|-----|-----|---|---|----|---|
|          |   | всего  | очная форма обучения |     |     |   |   |    |   |
|          |   |  | ЛЗ                   | НПЗ | ИЛР | С | К | СР |   |
| 1        | 2   | 3  | 4                    | 5   | 6   | 7 | 8 | 9  | 10                                      |
|          | 1-й семестр   |  |                      |     |     |   |   |    |   |
| 1        | Раздел 1. Задачи газодинамики старта<br>Общая характеристика задач газодинамики старта. Виды воздействия струйных течений и вызванных ими течений воздуха на элементы конструкций стартового комплекса (СК) и ракету. Повреждающий эффект воздействий. Требования к уровням нагружения. Схемы газоотведения при старте ракет различного назначения. Их краткая характеристика. Достоинства и недостатки. Области применения.  | 2  | 1                    |     |     |   |   | 1  | СИ                                      |
| 2        | Раздел 2. Математические модели, используемые при численном моделировании стартовых течений. Дифференциальная и интегральная формы записи уравнений газовой динамики. Осесимметричный и трехмерный случаи. Модель механической смеси газов. Модели турбулентности. Алгебраическая модель Прандтля. Дифференциальные модели k-ε, k-ω и модель Секундова. Концепции DNS и LES. Достоинства, недостатки и области применения различных моделей турбулентности. Граничные условия на стенках.   | 10   | -                    | -   | -   | - | - | 10 | СИ                                      |
| 3        | Раздел 3. Общие принципы численного решения задач газовой динамики старта. Метод конечных разностей, Неотражающие граничные условия на свободных границах: принципы и способы составления. Условия существования маршевой координаты. Использование декомпозиции: достоинства и недостатки. Особенности осесимметричных задач. Особенности решения стационарных задач. Метод установления. Виды сеток, используемых в двумерных и трехмерных задачах газовой динамики. Требования к сеткам. Способы автоматической генерации сеток. Учет движения границ расчетной области. Понятие о сеточной вязкости. Сетки, адаптирующиеся по линиям тока. Принцип TVD. | 8  | -                    | -   | -   | - | - | 8  | СИ                                      |

| 1  | 2   | 3  | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9  | 10         |
|----|---|----|---|---|---|---|---|----|------------|
| 4  | <i>Раздел 4. Общая характеристика прикладных программных пакетов решения задач газодинамики. Возможности пакет прикладных программных пакетов. Используемые модели, методы (решатели) и виды граничных условий. Этапы решения задачи. Подготовка расчетной сетки. Способы учета движения границ. Генерация сетки. Качество сетки. Интерфейс пакета Ansys-Fluent. Подготовка к запуску расчета. Способы представления результатов, Примеры решения задач.</i>  | 16 | - | - | - | - | - | 16 | СИ         |
|    | Всего за 1-й семестр  | 36 | 1 | - | - | - | - | 35 |            |
|    | 2-й семестр   |    |   |   |   |   |   |    |            |
| 5  | <i>Раздел 5. Сверхзвуковые нерасчетные струи ракетных двигателей (РД) Структура стационарной сверхзвуковой нерасчетной турбулентной струи при различных сочетаниях параметров на срезе сопла (числа Маха, нерасчетности и угла полураствора сопла). Причины, вызывающие образование бочек. Регулярное и нерегулярное отражение скачков от оси. Процессы в слое смешения. Догорание. Нестационарные процессы в сопле при выходе РД на основной режим тяги. Особенности блочных струй при различных вариантах компоновки РД.</i>                        | 5  | 1 | - | - | - | - | 4  | СИ,<br>РИР |
| 6  | <i>Раздел 6. Стационарное и квазистационарное взаимодействие струй РД с газоотражателем. Типовые распределения давления по поверхности газоотражателя. Критическая точка. Влияние турбулентных пульсаций в натекающем потоке. Общая характеристика течения в пограничном слое в зоне воздействия струи. Факторы, определяющие величины тепловых потоков. Особенности теплового воздействия на выемки и выступающие части.</i>   | 5  | - | - | - | - | - | 5  | СИ,<br>РИР |
| 7  | <i>Раздел 7. Пульсационное воздействие на элементы конструкции СК. Причины возникновения пульсационных нагрузок и акустического излучения. Характеристики пульсационного воздействия. Типовая спектральная плотность пульсаций давления. Зависимость уровней и частот воздействия от высоты подъема ракеты Методы снижения пульсационного воздействия.</i>  | 4  | - | - | - | - | - | 4  | СИ,<br>РИР |
| 8  | <i>Раздел 8. Воздействие струйных течений на поверхность нулевой отметки. Особенности струйных течений при подъеме ракеты. Влияние ветра и поворота сопел при маневрировании. Деформация струи в сносящем потоке и при повороте сопла. Особенности течения блочных струй. Процессы при выходе струи на поверхность нулевой отметки и движении пятна воздействия по поверхности. Тепловое и силовое воздействие струй. Требования к маневрированию РКН и параметрам ветра.</i>   | 4  | - | - | - | - | - | 4  | СИ,<br>РИР |
| 9  | <i>Раздел 9. Нестационарные процессы при старте ракет космического назначения (РКН) из полузаглубленных стартовых сооружений. Пусковые и отраженные волны. Причины, вызывающие появление волн сжатия и разрежения на последующих фазах старта. Способы снижения уровней волнового воздействия на РКН. Фаза разрежения, факторы, влияющие на ее продолжительность и интенсивность. Формирование эжекционного течения. Причины и способы предотвращения заброса горячих газов к РКН.</i>  | 2  | - | - | - | - | - | 2  | СИ         |
| 10 | <i>Раздел 10. Газодинамические процессы при различных вариантах контейнерного старта. Минометный старт. Тепловые и силовые нагрузки, действующие на контейнер и изделие на стадии работы ПАД и при запуске двигателя. Процессы при раскупорке. Колебательные режимы при втекании струи в контейнер. Другие схемы контейнерного старта. Схемы с изолированными газоходами, схемы с открытым контейнером, катапультный старт. Особенности течений и зоны воздействия струй. Режим с прилипанием струи к стенкам при старте из открытых контейнеров.</i> | 2  | - | - | - | - | - | 2  | СИ         |



| 1                    | 2   | 3  | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9  | 10 |
|----------------------|---|----|---|---|---|---|---|----|----|
| 11                   | Раздел 12. Структурно-элементный метод. Принципы построения алгоритма. Структурные элементы. Метод векторных линий. Модель расходной трубки тока в вязком потоке. Модель осредненного турбулентного движения. Набор аппроксимирующих зависимостей для разных областей. Определение коэффициентов, входящих в аппроксимирующие зависимости. Достоинства и недостатки метода. Использование структурно-элементного метода для расчета стационарной неизобарической струи, стационарной блочной струи, взаимодействия стационарной неизобарической струи с полужамкнутой полостью и пусковой ударной волны.              | 7  | - | - | - | - | - | 7  | СИ |
| 12                   | Раздел 12. Использование систем подачи воды для снижения силовых и тепловых нагрузок на элементы СК и РКН. Схемы подачи воды: внешняя, внутрискрутная и пристеночная. Механизмы и достижимые уровни снижения различных видов силовых и тепловых нагрузок при использовании каждой из схем. Физическая картина течения струй ниже патрубков внутрискрутного распыла воды. Физическая картина взаимодействия струи с предварительно созданной завесой. Требования к системе распыла.  | 4  | - | - | - | - | - | 4  | СИ |
| 13                   | Раздел 13 Экспериментальные исследования газодинамических процессов при старте. Цели проведения экспериментов на различных этапах проектирования стартовых комплексов. Критерии подобия, характеризующие газодинамические и тепловые процессы при старте. Физический смысл критериев. Условия, при которых возможно одновременное выполнение всех критериев. Примеры. Обоснование невозможности полного моделирования процессов при распыле воды. Схемы экспериментальных установок для воспроизведения газодинамических процессов при старте РКН. Моделирование движения РКН. Использование подвижных кареток и ИРС. | 3  | - | - | - | - | - | 3  | СИ |
| Всего за 2-й семестр |   | 36 | 1 | - | - | - | - | 35 |    |
| Итого:               |   | 72 | 2 | - | - | - | - | 70 |    |

Примечание: ЛЗ – лекционное занятие, НПЗ – научно-практические занятия, ИЛЗ – исследовательские лабораторные занятия, работа, С – семинары, К – индивидуальные консультации; СР – самостоятельная работа обучающихся, СИ – самостоятельное изучение тем с использованием литературы, РИР – выполнение комплексных расчетно-исследовательских работ;

### 3.3 Тематика аудиторных занятий

Тематика лекционных занятий

Таблица 3

| № раз-дела | № лек-ции | Основное содержание   | Кол-во часов | Литература              |
|------------|-----------|---|--------------|-------------------------|
| 1          | 1         | Общая характеристика задач газодинамики старта. Виды воздействия струйных течений и вызванных ими течений воздуха на элементы конструкций стартового комплекса (СК) и ракету. Повреждающий эффект воздействий. Требования к уровням нагружения. | 1            | 6 (ОЛ), 3-6 ДЛ,         |
| 5          | 2         | Структура стационарной сверхзвуковой нерасчетной турбулентной струи при различных сочетаниях параметров на срезе сопла (числа Маха, нерасчетности и угла полураствора сопла). Взаимодействие струй с элементами конструкций СК                  | 1            | 4, 6(ОЛ), 2-5 (ДЛ) 1 ЭР |
| Итого:     |           |   | 2            |                         |

Примечание: ОЛ – основная литература; ДЛ – дополнительная литература, ЭР – электронные ресурсы Программой дисциплины практические / семинарские / лабораторные занятия / не предусмотрены.

### 3.4 Перечень занятий, проводимых в активной и интерактивной формах

Программой дисциплины занятия, проводимые в активной и интерактивной формах не предусмотрены.

#### 4. Перечень заданий для самостоятельной работы

Таблица 4

| Задания  | Срок выдачи<br>(№ недели) | Срок сдачи<br>(№ недели) | Номера разделов<br>дисциплины (мо-<br>дуля) |
|--|---------------------------|--------------------------|---|
| Выполнение комплексной расчетно-исследовательской работы «Расчет струи РД и определение параметров силового и теплового нагружения газоотражателя и поверхности нулевой отметки» | 19                        | 28                       | 5, 6, 7, 8                                  |

#### 5. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по дисциплине

Оценка качества освоения дисциплины включает текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию в форме зачета

##### 5.1 Текущий контроль успеваемости по дисциплине

Контрольные мероприятия текущего контроля

Таблица 5

| Вид контрольного мероприятия                                   | Наименование  | Срок проведения<br>(№ недели) | Контролируемый объем<br>(№№ разделов) |
|--|---|-------------------------------|---------------------------------------|
| Устный опрос   |   | 18                            | 2-4                                   |
| Защита отчета по комплексной расчетно-исследовательской работе | «Расчет струи РД и определение параметров силового и теплового нагружения газоотражателя и поверхности нулевой отметки» | 29                            | 5-8                                   |

##### 5.2 Оценочные средства промежуточной аттестации

Для промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине образован фонд оценочных средств в виде вопросов на зачет и тестов.

Примеры вопросов на зачет:

1. Газодинамические схемы старта. Достоинства, недостатки и область применения.
2. Модели турбулентности, используемые для расчета стартовых течений.
3. Решение задач газодинамики старта с использованием прикладных программных пакетов. Особенности выбора настроек.
4. Структура свободной стационарной сверхзвуковой нерасчетной струи РД при различных сочетаниях параметров на срезе.
5. Взаимодействие свободной стационарной сверхзвуковой нерасчетной струи РД с газоотражателем. Силовое и тепловое воздействие на газоотражатель.
6. Пульсационное и акустическое воздействие струй на элементы СК и РКН. Причины и методы снижения.
7. Нестационарные течения в полузаглубленных сооружениях при старте ракет космического назначения.
8. Системы распыла воды при старте ракет. Назначение. Принципы выбора расположения патрубков.
9. Методы экспериментальной отработки задач газодинамики старта на модельных стендах.



## 5. Образовательные технологии по дисциплине

Обучение по дисциплине ведется с применением лекций-консультаций

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационно-телекоммуникационные технологии:  
– использование мультимедийных материалов – презентация материала с использованием проектора.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Основная литература:

Таблица 6

| № п/п | Автор                                       | Наименование  | Издательство | Год издания |
|-------|---|---|--------------|-------------|
| 1     | Волков К. Н., Емельянов В. Н.               | Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа              | Физматлит    | 2012        |
| 2     | Волков К. Н., Емельянов В. Н., Зазимко В.А. | Турбулентные струи - статистические модели и моделирование крупных вихрей | Физматлит    | 2013        |
| 3     | Моисеев М. Г.                               | Трение и теплообмен в аэродинамике: учебное пособие для вузов             | БГТУ         | 2010        |

### 6.2 Дополнительная литература:

Таблица 7

| № п/п | Автор   | Наименование   | Издательство    | Год издания |
|-------|---|--|-----------------|-------------|
| 1     | 2   | 3  | 4               | 5           |
| 1     | Акимов Г. А., Зазимко В.А., Моисеев М. Г.                   | Аэрогазодинамика: лабораторный практикум для вузов. - Ч. 1: Основные понятия. Газодинамические таблицы.    | БГТУ            | 2007        |
| 2     | Акимов Г. А., Зазимко В.А., Моисеев М. Г.                   | Аэрогазодинамика: лабораторный практикум для вузов. - Ч. 2: Описание лабораторных работ.                   | БГТУ            | 2009        |
| 3     | Афанасьев Е.В., Балобан В.И., Бобышев С.В., Добросердов И.Л | Структурно-элементное моделирование газодинамических процессов при старте ракет: учебное пособие для ВУЗов | БГТУ            | 2004        |
| 4     | Бармин И.В. (ред.)  | Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники (инженерное пособие). Книга 1  | Полиграфикс РПК | 2005        |
| 5     | Бирюков Г.П., Бут А.Б., Хотулев В.А., Фадеев А.С.           | Газодинамика стартовых комплексов  | Рестарт         | 2014        |
| 6     | Грибанов В.Ф. (ред)   | Методы отработки научных и народно-хозяйственных ракетно-космических комплексов.                           | Машиностроение  | 1995        |
| 7     | Терехов В.И., Пахомов М.А.                                  | Тепломассоперенос и гидродинамика в газокapельных потоках  | НГТУ            | 2009        |
| 8     | Волков К. Н., Емельянов В. Н.                               | Течения газа с частицами   | Физматлит       | 2008        |
| 9     | Волков К. Н., Емельянов В. Н.                               | Моделирование крупных вихрей в расчётах турбулентных течений   | Физматлит       | 2008        |
| 10    | Ильгамов М.А. Гильманов А.Н.                                | Неотражающие условия на границах расчетной области.  | Физматлит       | 2006        |

| 1  | 2   | 3  | 4                 | 5    |
|----|---|--|-------------------|------|
| 11 | Моисеев М. Г., Циркунов Ю. М.                     | Основы аэрогазодинамики: учебное пособие для вузов   | БГТУ              | 2006 |
| 12 | Афанасьев Е. В., Бобышев С. В., Добросердов И. Л. | Определение параметров поля течения одиночной неизобарической струи: лабораторный практикум<br><a href="http://library.voenmeh.ru/elres/elr00950.pdf">http://library.voenmeh.ru/elres/elr00950.pdf</a> | БГТУ<br>"ВОЕНМЕХ" | 2008 |
| 13 | Бобышев С. В., Добросердов И. Л.                  | Термодинамика газовых течений: учебное пособие для вузов<br><a href="http://library.voenmeh.ru/elres/elr01232.pdf">http://library.voenmeh.ru/elres/elr01232.pdf</a>                                    | БГТУ<br>"ВОЕНМЕХ" | 2009 |
| 14 | Волков К. Н., Емельянов В. Н.                     | Двухфазные течения: учебное пособие для вузов<br><a href="http://library.voenmeh.ru/elres/elr00151.pdf">http://library.voenmeh.ru/elres/elr00151.pdf</a>   | БГТУ<br>"ВОЕНМЕХ" | 2005 |
| 15 | Волков К. Н., Емельянов В. Н.                     | Моделирование крупных вихрей в расчётах турбулентных течений<br><a href="http://library.voenmeh.ru/elres/elr02169.pdf">http://library.voenmeh.ru/elres/elr02169.pdf</a>                                | БГТУ<br>"ВОЕНМЕХ" | 2005 |
| 16 | Волков К. Н., Емельянов В. Н.                     | Моделирование крупных вихрей в расчётах турбулентных течений<br><a href="http://library.voenmeh.ru/elres/elr02169.pdf">http://library.voenmeh.ru/elres/elr02169.pdf</a>                                | ФИЗМАТЛИТ         | 2008 |

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

Электронные ресурсы:

ЭБС «Лань», ЭБС «Юрайт», [library.voenmeh.ru](http://library.voenmeh.ru)

### 6.4 Программное обеспечение.

- 1) Пакет символьных вычислений Wolfram Mathematica (версия 10 или выше);
- 2) Пакет Ansys (версия 15 или выше);
- 3) Программа расчета свободной стационарной сверхзвуковой нерасчетной струи РД Strua;
- 4) Программа расчета течения в пограничном слое на газоотражателе при натекании свободной стационарной струи РД Psloy;
- 5) Программа расчета спектра пульсаций давления на газоотражателе при натекании свободной стационарной струи РД Spectr

### 6.5. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

Использование мультимедийных материалов – презентация материала с использованием проектора.

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

- 1) Лекции и практические занятия по данной дисциплине проводятся в специализированном классе кафедры А-4 (ауд. 375). Аудитория оснащена презентационной техникой (проектор, экран и ноутбук).
- 2) Комплексная расчетно-исследовательская работа выполняется в компьютерном классе кафедры. Рабочие места аспирантов в компьютерном классе оснащены компьютерами из расчета один компьютер на аспиранта.

### 7.2 Средства обеспечения освоения дисциплины

- 1) Компьютерные презентации с результатами численных и экспериментальных исследований газодинамических течений при старте



**СПРАВКА**  
**о наличии в библиотеке БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова**  
**учебной литературы**  
(справка является неотъемлемой частью УМК дисциплины)

1. Наименование дисциплины: «Газодинамика старта».
2. Кафедра А4 Стартовые и технические комплексы ракет и космических аппаратов.
3. **Перечень основной учебной литературы** (авторы, название, наличие грифа Минобразования, УМО, НМС, другого министерства или ведомства, выходные данные, количество экземпляров) :

| № п/п | Автор   | Наименование  | Издательство | Год издания |
|-------|---|---|--------------|-------------|
| 1     | Волков К. Н.,<br>Емельянов В. Н.                  | Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа              | Физматлит    | 2012        |
| 2     | Волков К. Н.,<br>Емельянов В. Н.,<br>Зазимко В.А. | Турбулентные струи - статистические модели и моделирование крупных вихрей | Физматлит    | 2013        |
| 3     | Моисеев М. Г.                                     | Трение и теплообмен в аэродинамике: учебное пособие для вузов             | БГТУ         | 2010        |

4. **Перечень дополнительной литературы** (авторы, название, наличие грифа Минобразования, УМО, НМС, другого министерства или ведомства, выходные данные, количество экземпляров):

| № п/п | Автор   | Наименование   | Издательство    | Год издания |
|-------|---|--|-----------------|-------------|
| 1     | 2   | 3  | 4               | 5           |
| 1     | Акимов Г. А., Зазимко В.А., Моисеев М. Г.                   | Аэрогазодинамика: лабораторный практикум для вузов. - Ч. 1: Основные понятия. Газодинамические таблицы.    | БГТУ            | 2007        |
| 2     | Акимов Г. А., Зазимко В.А., Моисеев М. Г.                   | Аэрогазодинамика: лабораторный практикум для вузов. - Ч. 2: Описание лабораторных работ.                   | БГТУ            | 2009        |
| 3     | Афанасьев Е.В., Балобан В.И., Бобышев С.В., Добросердов И.Л | Структурно-элементное моделирование газодинамических процессов при старте ракет: учебное пособие для ВУЗов | БГТУ            | 2004        |
| 4     | Бармин И.В. (ред.)  | Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники (инженерное пособие). Книга 1  | Полиграфикс РПК | 2005        |
| 1     | 2   | 3  | 4               | 5           |
| 5     | Бирюков Г.П., Бут А.Б., Хотулев В.А., Фадеев А.С.           | Газодинамика стартовых комплексов  | Рестарт         | 2014        |
| 6     | Грибанов В.Ф. (ред)   | Методы отработки научных и народнохозяйственных ракетно-космических комплексов.                            | Машино-строение | 1995        |
| 7     | Терехов В.И., Пахомов М.А.                                  | Тепломассоперенос и гидродинамика в газокапельных потоках  | НГТУ            | 2009        |
| 8     | Волков К. Н., Емельянов В. Н.                               | Течения газа с частицами   | Физматлит       | 2008        |
| 9     | Волков К. Н., Емельянов В. Н.                               | Моделирование крупных вихрей в расчётах турбулентных течений   | Физматлит       | 2008        |
| 10    | Ильгамов М.А. Гильманов                                     | Неотражающие условия на границах   | Физматлит       | 2006        |

|    |   |  |                   |      |
|----|---|--|-------------------|------|
|    | А.Н.  | расчетной области.   |                   |      |
| 11 | Моисеев М. Г., Циркунов Ю. М.                     | Основы аэрогазодинамики: учебное пособие для вузов   | БГТУ              | 2006 |
| 12 | Афанасьев Е. В., Бобышев С. В., Добросердов И. Л. | Определение параметров поля течения одиночной неизобарической струи: лабораторный практикум<br><a href="http://library.voenmeh.ru/elres/elr00950.pdf">http://library.voenmeh.ru/elres/elr00950.pdf</a> | БГТУ<br>"ВОЕНМЕХ" | 2008 |
| 13 | Бобышев С. В., Добросердов И. Л.                  | Термодинамика газовых течений: учебное пособие для вузов<br><a href="http://library.voenmeh.ru/elres/elr01232.pdf">http://library.voenmeh.ru/elres/elr01232.pdf</a>                                    | БГТУ<br>"ВОЕНМЕХ" | 2009 |
| 14 | Волков К. Н., Емельянов В. Н.                     | Двухфазные течения: учебное пособие для вузов<br><a href="http://library.voenmeh.ru/elres/elr00151.pdf">http://library.voenmeh.ru/elres/elr00151.pdf</a>   | БГТУ<br>"ВОЕНМЕХ" | 2005 |
| 15 | Волков К. Н., Емельянов В. Н.                     | Моделирование крупных вихрей в расчётах турбулентных течений<br><a href="http://library.voenmeh.ru/elres/elr02169.pdf">http://library.voenmeh.ru/elres/elr02169.pdf</a>                                | БГТУ<br>"ВОЕНМЕХ" | 2005 |
| 16 | Волков К. Н., Емельянов В. Н.                     | Моделирование крупных вихрей в расчётах турбулентных течений<br><a href="http://library.voenmeh.ru/elres/elr02169.pdf">http://library.voenmeh.ru/elres/elr02169.pdf</a>                                | ФИЗМАТЛИТ         | 2008 |

Директор библиотеки

  
 /Сесина Н.В. /  
 «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.