



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ  
АВИАЦИИ ИМЕНИ ГЛАВНОГО МАРШАЛА АВИАЦИИ А.А. НОВИКОВА»

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по научной и инновационной  
работе

/ Г.А. Костин

« 21 » июня 2023 года

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

*Наименование научной специальности*

1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

*Уровень высшего образования*

Подготовка кадров высшей квалификации

Санкт-Петербург  
2023

## **1 Цели и задачи программы кандидатского экзамена**

Основной целью кандидатского экзамена по специальной дисциплине «Механика жидкости газа и плазмы» является установить глубину профессиональных знаний аспиранта (прикрепленного лица), уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе.

Настоящая программа определяет порядок проведения кандидатского экзамена по специальной дисциплине в соответствии с научной специальностью.

В задачи входят:

1. Определение в процессе подготовки и сдачи кандидатского экзамена по специальной дисциплине уровня фактических знаний, навыков и умений обучающихся, полученных в процессе обучения, в том числе общих и специальных знаний, умений и навыков выявления, понимания и решения проблем в сфере отраслевой экономики с учетом результатов современных прикладных и научных исследований.

2. Определение уровня подготовленности и нацеленности аспиранта к самостоятельной научно-исследовательской работе и педагогической деятельности.

Аспирант (прикрепленное лицо) должен

➤ *Знать:*

- набор исходных данных, постановку задачи и граничные условия описания параметров потоков движущихся сред в широком диапазоне условий;
- виды экспериментальных исследований течений и их взаимодействия с телами.

➤ *Уметь:*

- разрабатывать математические модели для описания параметров потоков движущихся сред;
- интерпретировать результаты экспериментальных исследований течений и их взаимодействия с телами.

➤ *Владеть:*

- навыками исследования математических моделей для описания параметров потоков движущихся сред;
- навыками проведения экспериментальных исследований для решения исследовательских и прикладных задач в рамках диссертационного исследования.

## **2 Порядок проведения и критерии оценивания результатов кандидатского экзамена.**

Кандидатский экзамен проводится по билетам. Для подготовки ответа экзаменуемый использует экзаменационные листы.

На каждого экзаменуемого заполняется протокол приема кандидатского экзамена, в который вносятся вопросы билетов и вопросы, заданные членами комиссии.

Экзаменационные билеты должны включать два вопроса в соответствии с разделами программы кандидатского экзамена и один вопрос в соответствии с дополнительной программой.

Вопросы, выносимые на кандидатский экзамен по специальной дисциплине, делятся на три группы.

Первая и вторая группа вопросов проверяет уровень знаний по выбранной научной специальности (дисциплина «Механика жидкости, газа и плазмы») Из перечня этих вопросов формируются экзаменационные билеты (первый и второй вопрос).

Третий вопрос связан с диссертационным исследованием. Научный руководитель (выпускающая кафедра) формулирует вопросы, непосредственно связанные с диссертационным исследованием аспиранта.

Вопросы третьей группы оформляются в Дополнительную программу и утверждаются на заседании кафедры.

Знания аспиранта (прикрепленного лица) по итогу сдачи кандидатского экзамена оцениваются по пяти балльной системе.

Оценка *«Отлично»* выставляется экзаменуемому, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания по рассматриваемым вопросам и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений. Отвечая на вопрос, может быстро и безошибочно проиллюстрировать ответ собственными примерами.

Оценка *«Хорошо»* выставляется экзаменуемому, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности, хорошо владеет всем содержанием, видит взаимосвязи, но не всегда делает это самостоятельно без помощи преподавателя.

Оценка *«Удовлетворительно»* выставляется экзаменуемому, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы в рамках изучаемых вопросов, необходимым для дальнейшего проведения научного исследования и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации. Отвечает только на конкретный вопрос, соединяет знания из разных разделов курса только при наводящих вопросах преподавателя.

Оценка *«Неудовлетворительно»* выставляется экзаменуемому, который не знает большей части основного содержания вопросов дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач. Не раскрыты глубина и полнота при ответах.

Итоговая оценка по экзаменационному билету выставляется следующим образом:

- «отлично» – в случае получения отлично по всем по каждому вопросу/заданию в билете;

- «хорошо» – в случае получения отлично по каждому вопросу/заданию в билете, но один из вопросов могут быть оценен на «хорошо»; в случае получения «хорошо» по каждому вопросу/заданию в билете;
- «удовлетворительно» – в случае получения «удовлетворительно» по одному из вопросов в билете; в случае получения «удовлетворительно» по всем сдаваемым вопросам/заданию в билете;
- «неудовлетворительно» – в случае получения «неудовлетворительно» по одному из вопросов в билете.

### **3 Типовые вопросы для проведения кандидатского экзамена**

1. Понятие сплошной среды. Микроскопические, статистические и макроскопические феноменологические методы описания свойств, взаимодействий и движений материальных сред.

2. Области приложения механики жидкости, газа и плазмы. Механические модели, теоретическая схематизация и постановка задач, экспериментальные методы исследований.

3. Основные исторические этапы в развитии механики жидкости и газа.

4. Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и эйлеровы координаты. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике.

5. Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред.

6. Определения и свойства кинематических характеристик движения: перемещения, траектории, скорость, линии тока, критические точки, ускорение, тензор скоростей деформации и его инварианты, вектор вихря, потенциал скорости, циркуляция скорости, установившееся и неустановившееся движение среды.

7. Кинематические свойства вихрей.

8. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Многокомпонентные смеси. Потоки диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей.

9. Массовые и поверхностные, внутренние и внешние силы. Законы сохранения количества движения и моментов количества движения для конечных масс сплошной среды. Дифференциальные уравнения движения и момента количества движения сплошной среды.

10. Работа внутренних поверхностных сил. Кинетическая энергия и уравнение живых сил для сплошной среды в интегральной и дифференциальной формах.

11. Понятие о параметрах состояния, пространстве состояний, процессах и циклах. Закон сохранения энергии, внутренняя энергия. Уравнение притока тепла. Вектор потока тепла. Дифференциальные уравнения энергии и притока тепла. Законы теплопроводности Фурье. Различные частные процессы: адиабатический, изотермический и др.

12. Обратимые и необратимые процессы. Совершенный газ. Цикл Карно. Второй закон термодинамики. Некомпенсированное тепло и производство энтропии. Неравенство диссипации, тождество Гиббса. Диссипативная функция. Основные макроскопические механизмы диссипации. Понятие о принципе Онзагера. Уравнения состояния. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред.
13. Модель идеальной жидкости. Уравнения Эйлера. Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия.
14. Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа. Явление кавитации.
15. Теорема Томсона и динамические теоремы о вихрях. Возникновение вихрей. Теорема Бьеркнеса.
16. Модель вязкой жидкости. Линейно-вязкая (ньютоновская) жидкость. Уравнения Навье-Стокса. Полные системы уравнений для вязкой несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия. Диссипация энергии в вязкой теплопроводной жидкости.
17. Применение интегральных соотношений к конечным объемам среды при установившемся движении. Теория реактивной тяги и теория идеального пропеллера.
18. Поверхности слабых и сильных разрывов. Разрывы сплошности.
19. Условия на поверхностях сильного разрыва в материальных средах и в электромагнитном поле. Тангенциальные разрывы и ударные волны.
20. Равновесие жидкости и газа в поле потенциальных массовых сил. Закон Архимеда. Равновесие и устойчивость плавающих тел и атмосферы.
21. Общая теория непрерывных потенциальных движений несжимаемой жидкости. Свойства гармонических функций. Многозначность потенциала в многосвязных областях. Кинематическая задача о произвольном движении твердого тела в неограниченном объеме идеальной несжимаемой жидкости. Энергия, количество движения и момент количества движения жидкости при движении в ней твердого тела. Движение сферы в идеальной жидкости.
22. Силы воздействия идеальной жидкости на тело, движущееся в безграничной массе жидкости. Основы теории присоединенных масс. Парадокс Даламбера.
23. Плоские движения идеальной жидкости. Функция тока. Применение методов теории аналитических функций комплексного переменного для решения плоских задач гидродинамики и аэродинамики. Стационарное обтекание жидкостью цилиндра и профиля. Формулы Чаплыгина и теорема Жуковского. Правило Жуковского и Чаплыгина определения циркуляции вокруг крыльев с острой задней кромкой. Нестационарное обтекание профилей.
24. Плоские задачи о струйных течениях жидкости. Обтекание тел с отрывом струй. Схемы Кирхгофа, Эфроса и др.

25. Определение поля скоростей по заданным вихрям и источникам. Формулы Био-Савара. Прямолинейный и кольцевой вихри. Законы распределения давлений, силы, обуславливающие вынужденное движение прямолинейных вихрей в плоском потоке.
26. Постановка задачи и основные результаты теории крыла конечного размаха. Несущая линия и несущая поверхность.
27. Постановка задачи Коши-Пуассона о волнах на поверхности тяжелой несжимаемой жидкости. Гармонические волны. Фазовая и групповая скорость. Дисперсия волн. Перенос энергии прогрессивными волнами. Теория мелкой воды. Уравнения Буссинеска и Кортвега-де-Вриза. Нелинейные волны. Солитон.
28. Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости. Течения Куэтта и Пуазейля. Течение вязкой жидкости в диффузоре. Диффузия вихря.
29. Приближения Стокса и Озеена. Задача о движении сферы в вязкой жидкости в постановке Стокса.
30. Ламинарный пограничный слой. Задача Блазиуса. Интегральные соотношения и основанные на их использовании приближенные методы в теории ламинарного пограничного слоя. Явление отрыва пограничного слоя. Устойчивость пограничного слоя. Теплообмен с потоком на основе теории пограничного слоя.
31. Турбулентность. Опыт Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса. Турбулентный перенос тепла и вещества. Полуэмпирические теории турбулентности. Профиль скорости в пограничном слое. Логарифмический закон. Прямое численное решение уравнений гидромеханики при наличии турбулентности.
32. Свободная и вынужденная конвекция. Приближение Буссинеска. Линейная неустойчивость подогреваемого плоского слоя и порог возникновения конвекции. Понятие о странном аттракторе.
33. Движение жидкости и газа в пористой среде. Закон Дарси. Система дифференциальных уравнений подземной гидрогазодинамики. Неустановившаяся фильтрация газа. Примеры точных автомодельных решений.
34. Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости. Волновое уравнение. Скорость звука.
35. Запаздывающие потенциалы. Эффект Допплера. Конус Маха. Уравнения газовой динамики. Характеристики.
36. Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении. Элементарная теория сопла Лавалья.
37. Одномерные неустановившиеся движения газов с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами. Автомодельные движения и классы соответствующих задач. Задачи о поршне и о сильном взрыве в газе.
38. Волны Римана. Эффект опрокидывания волн. Адиабата Гюгонио. Теорема Цемплена. Эволюционные и неэволюционные разрывы.
39. Теория волн детонации и горения. Правило Жуге и его обоснование.

40. Задача о структуре сильного разрыва.
41. Качественное описание решения задачи о распаде произвольного разрыва.
42. Плоские стационарные сверхзвуковые течения газа. Метод характеристик. Течение Прандтля-Майера. Косой скачок уплотнения. Обтекание сверхзвуковым потоком газа клина и конуса. Понятие об обтекании тел газом с отошедшей ударной волной.
43. Линейная теория обтекания тонких профилей и тел вращения.
44. Течения с гиперзвуковыми скоростями. Закон сопротивления Ньютона.
45. Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в пустоте. Взаимодействие электромагнитного поля с проводниками. Сила Лоренца. Закон сохранения полного заряда. Закон Ома. Среды с идеальной проводимостью. Вектор и уравнение Умова-Пойнтинга. Джоулево тепло. Уравнения импульса и притока тепла для проводящей среды.
46. Уравнения магнитной гидродинамики. Условия вмороженности магнитного поля в среду. Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей.
47. Система определяющих параметров для выделенного класса явлений. Основные и производные единицы измерения. Формула размерностей. П-теорема. Примеры приложений. Определение физического подобия. Моделирование. Критерии подобия. Числа Эйлера, Маха, Фруда. Рейнольдса, Струхала, Прандтля.

## 4 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 4.1 Основная литература

№ п/п	Наименование	Автор, место издания, издательство, год	Ссылка на электронный доступ
4.1.1	Механика жидкости и газа	А. А. Гусев. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 232 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05485-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт].	URL: <a href="https://urait.ru/bcode/535604">https://urait.ru/bcode/535604</a>

4.1.2	Механика жидкости и газа. Математика. Общая механика. Избранные труды	С. А. Чаплыгин. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 429 с. — (Антология мысли). — ISBN 978-5-534-03803-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт].	URL: <a href="https://urait.ru/bcode/539364">https://urait.ru/bcode/539364</a>
4.1.3	Оболочки в потоке жидкости и газа: задачи аэроупругости	А. С. Вольмир. — 2-е изд., стер. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 423 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06870-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт].	URL: <a href="https://urait.ru/bcode/539805">https://urait.ru/bcode/539805</a>

## 4.2 Дополнительная литература

№ п/п	Наименование	Автор, место издания, издательство, год	Ссылка на электронный доступ
4.2.1	Теоретическая механика	В. Г. Вильке. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 311 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-03481-3. — Текст : электронный // Образовательная	URL: <a href="https://urait.ru/bcode/536768">https://urait.ru/bcode/536768</a>

		платформа Юрайт [сайт].	
4.2.2	Основы гидромеханики	А. А. Гусев. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 56 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-15854-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт].	URL: <a href="https://urait.ru/bcode/544666">https://urait.ru/bcode/544666</a>
4.2.3	Механика жидкости и газа. Математика. Общая механика.	С. А. Чаплыгин. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 429 с. — (Антология мысли). — ISBN 978-5-534-03803-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт].	URL: <a href="https://urait.ru/bcode/539364">https://urait.ru/bcode/539364</a>

#### **4.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем (при наличии)**

№ п/п	Наименование профессиональной базы данных/информационной справочной системы	Ссылка на информационный ресурс
4.3.1	Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ»	<a href="https://www.intuit.ru/">https://www.intuit.ru/</a>
4.3.2	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	: <a href="http://window.edu.ru">http://window.edu.ru</a>
4.3.3	Библиотека СПбГУ ГА [Электронный ресурс]	<a href="http://spbguga.ru/objects/e-library/">http://spbguga.ru/objects/e-library/</a>

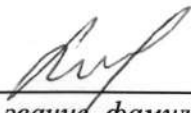
#### **4.4 Программное обеспечение (лицензионное), базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

№ п/п	Наименование программного продукта	Ссылка на информационный ресурс
4.4.1	Электронная библиотека «ЮРАЙТ»	<a href="https://biblio-online.ru">https://biblio-online.ru</a>
4.4.2	Электронно-библиотечная система издательства «Лань»	<a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>
4.4.3	Электронная библиотека научных публикаций «eLIBRARY.RU»	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине по научной специальности 1.1.9 Механика жидкости газа и плазмы составлена в соответствии с Приказом Министерства образования и науки РФ от 28 марта 2014 г. №247 «Об утверждении Порядка прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечня» (с изменениями и дополнениями), а также требованиями Федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научнопедагогических кадров в аспирантуре, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 951 от 20.10.2021, программами аспирантуры по научным специальностям, разработанным и утвержденным Университетом.

Разработчик:

К.Т.Н.

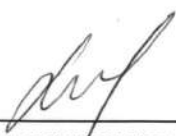


Ю.В. Земсков

*(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы разработчика)*

И.о. заведующего кафедрой №8

К.Т.Н.



Ю.В. Земсков

*(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы заведующего кафедрой)*

Программа согласована:

Руководитель ОП

д.т.н., доцент



Костин Г.А.

*(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы)*

Начальник управления аспирантуры и докторантуры

д.э.н., профессор



Байдукова Н.В.

*(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы)*

Программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методического совета Университета 21.06.2023, протокол №9