

**федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»**



Ю.С. Ключков

ПРОГРАММА

**вступительного испытания
по специальной дисциплине**

**для поступающих на обучение по программам подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

**научная специальность
1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы**

Санкт-Петербург

2022

Руководитель ОП

к.т.н.

О.Б. Шагниева

Составители:

д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН, профессор

А.В. Иванчик

д.ф.-м.н., профессор

А.В. Блинов

к.ф.-м.н., доцент

А.Н. Константинов

Программа рассмотрена и рекомендована к изданию Научно-техническим советом (протокол № 5 от «21» марта 2022 г.).

1. Область применения и нормативные ссылки

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных требований по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и порядка приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

2. Структура вступительного экзамена

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры.

Программа содержит перечень тем (вопросов) по специальной дисциплине соответствующей научной специальности **1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы**

Вступительное испытание по специальной дисциплине состоит из двух блоков:

– теоретический экзамен, проводимый очно в письменной и/или устной форме (максимальный балл – 100);

– портфолио (максимальный балл – 100).

Минимальное количество баллов для теоретического экзамена составляет 50 баллов.

При получении по теоретическому экзамену результата ниже минимального балла, портфолио не рассматривается и не суммируется с результатом теоретического экзамена.

2.1. Оценка индивидуальных достижений. Структура портфолио

Максимальная возможная оценка за индивидуальные достижения (портфолио) составляет 100 баллов.

Для участия в конкурсе оценки индивидуальных достижений (портфолио) абитуриент может представить следующие документы, подтверждающие его достижения:

а. Доклады на международных и российских конференциях, научных семинарах, научных школах и т.д. по направлению будущего диссертационного исследования. Подтверждается представлением программы конференции, диплома (сертификата) участника.

б. Опубликованные или принятые к публикации научные работы (статьи, доклады в сборниках докладов). Подтверждается представлением электронных копий подлинников, ссылкой на открытые источники, справкой из редакции о принятии к публикации с обязательным указанием номера журнала и страниц. Публикации должны относиться к тому же направлению, что и тема будущего диссертационного исследования.

с. Свидетельства о государственной регистрации программ и баз данных, патенты на изобретения, патенты на полезные модели, и проч.

д. Участие в научно-исследовательских проектах, академических грантах. Подтверждается данными проекта (название, номер гранта, фонд), контактными данными руководителя проекта и краткой аннотацией (не более 200 слов), разъясняющей суть работы абитуриента.

Перечень достижений портфолио, учитываемых при приеме на обучение

№ п/п	Индивидуальное достижение	Подтверждающий документ	Количество баллов за каждое достижение
1.	Научные публикации (тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе):	Копия статьи с выходными данными журнала, DOI, URL	
	в журналах перечня ВАК;		10
	в журналах индексируемых в Scopus и (или) WoS (в том числе входящих в базу данных RSCI) Q1 или Q2;		25
	в журналах индексируемых в Scopus и (или) WoS (в том числе входящих в базу данных RSCI) Q3 или Q4.		15
2.	Гранты, проекты по выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, тематика которых соответствует направлению подготовки в конкурсе, по которому участвует поступающий, и в которых он являлся:	Копия подписанного соглашения с грантодателем	
	руководителем		10
	исполнителем		5
3.	Наличие документа, удостоверяющего авторство (соавторство) поступающего на достигнутый им научный (научно-методический, научно-технический, научно-творческий) результат интеллектуальной деятельности:	Копия патента или свидетельства	
	– патент на изобретение;		10
	– патент на полезную модель;		7
	– свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ;		5
	– свидетельство о государственной регистрации базы данных;		5
	– свидетельство о государственной регистрации топологии интегральных микросхем.		5

№ п/п	Индивидуальное достижение	Подтверждающий документ	Количество баллов за каждое достижение
4.	Публикация в материалах международных и всероссийских научно-технических конференций, включая публикации в выпусках научных журналов, публикующих статьи по итогам конференций (изданиях типа Conference series и(или) Proceedings), проводимых не ранее чем за 2 года, предшествующих приему. Тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе:	Копии материалов конференций (тезисов докладов) с приложением титульных листов, DOI, URL (при наличии)	
	за конференцию, индексируемую в базе данных Web of Science и (или) Scopus (индексация сборника или журнала с публикацией подтверждается ссылкой или скриншотом из базы данных).		5
	за прочие конференции.		3
5.	Наличие дипломов победителей мероприятий международного и всероссийского значения, подтверждающие успехи в профессиональной подготовке кандидата для поступления в аспирантуру.	Копия диплома	3

Оценка индивидуальных достижений проводится на собеседовании.

2.2. Структура и процедура проведения теоретического экзамена

Максимальная возможная оценка за теоретический экзамен составляет 100 баллов.

Собеседование состоит из двух частей.

1) Ответ на вопросы в соответствии с научной специальностью будущей научно-исследовательской работы (диссертации).

Абитуриент выбирает билет, содержащий два вопроса из представленных в программе собеседования тем.

Абитуриенту предоставляется 30 минут на подготовку. В ходе ответа комиссия может задавать уточняющие вопросы.

2) Беседа по планируемому направлению исследований. Абитуриенту необходимо раскрыть следующие вопросы: предполагаемая тема научно-исследовательской работы, формулировка проблемы, цели ее исследования, новизна. В ходе ответа комиссия может задавать уточняющие вопросы.

2.3. Перечень тем для теоретического экзамена

Кинематика жидкости и газа

Модель сплошной текучей среды. Методы Эйлера и Лагранжа задания движения. Линии тока и траектории. Первая теорема Гельмгольца. Тензор скоростей деформаций. Вихрь.

Вихревые линии и трубки. Вторая теорема Гельмгольца. Гидродинамическая теорема Стокса. Лагранжева (индивидуальная), локальная и конвективная производные по времени. Кинематическая теорема Кельвина.

Основные законы сохранения и общие уравнения движения и равновесия жидкости и газа

Плотность распределения массы. Уравнение неразрывности. Классификация и способы задания действия сил. Тензор напряжений. Формула Коши. Закон сохранения количества движения и уравнение динамики в напряжениях. Симметричность тензора напряжений. Закон сохранения энергии и уравнения баланса полной, кинетической и внутренней энергии. Консервативная форма записи уравнений баланса. Уравнения гидроаэростатики.

Основные уравнения динамики идеальной жидкости и газа

Модель идеальной (невязкой) текучей среды. Уравнения движения и сохранения энергии в идеальной среде. Баротропность, функция давления. Форма Громека – Лэмба записи уравнения движения. Уравнение Гельмгольца переноса вихрей. Теорема Бернулли, частные случаи выражения соотношения Бернулли. Примеры применения соотношения Бернулли. Уравнения баланса энтальпии и полной энтальпии. Изэнтропичность адиабатического движения газа.

Одномерный поток идеального газа

Распространение малых возмущений. Скорость звука. Линии возмущений, конус возмущений. Число Маха и скоростной коэффициент. Изэнтропические формулы. Одномерное течение газа по трубе переменного сечения. Истечение газа из резервуара. Явление запираания канала. Сопло Лавая. Образование ударных волн. Прямой скачок уплотнения. Формулы Рэнкина – Гюгонио. Ударная адиабата. Формула Прандтля. Связь между параметрами до- и после скачка. Потери механической энергии в скачке. Скорость спутного потока.

Плоское безвихревое движение идеальной несжимаемой жидкости

Теорема Кельвина о сохранении циркуляции. Теорема Лагранжа. Потенциал скоростей. Вычисление потенциала в односвязной и многосвязной областях. Функция тока в плоском движении. Комплексный потенциал. Простейшие плоские потоки. Бесциркуляционное и циркуляционное обтекания кругового цилиндра. Задача об обтекании крылового профиля. Постулат Жуковского – Чаплыгина. Формула для циркуляции скорости. Обтекание пластинки. Формулы для главного вектора и главного момента сил давления. Теорема Жуковского о подъемной силе. Коэффициенты подъемной силы и момента для пластины.

Пространственное безвихревое движение идеальной несжимаемой жидкости

Потенциалы скоростей простейших пространственных потоков. Непрерывное распределение источников и стоков. Ньютонов потенциал. Поле скоростей вокруг заданной системы вихрей. Формула Био – Савара. Функция тока в пространственных потоках. Обтекание сферы. Парадокс Даламбера для обтекания сферы и произвольного тела. Задача Кирхгофа о произвольном движении твердого тела. Единичные потенциалы. Присоединенные массы.

Плоское безвихревое движение идеального газа

Уравнения плоского безвихревого адиабатического движения идеального газа. Линеаризованный до- и сверхзвуковой потоки. Формулы Прандтля – Глауэрта для дозвукового потока. Критическое число Маха. Тонкий профиль в сверхзвуковом потоке.

Формулы Аккерета. Обтекание внешней части тупого угла сверхзвуковым потоком газа. Косой скачок уплотнения. Ударная поляра. Связь между параметрами потока до- и после косоугольного скачка.

Основы движения вязкой несжимаемой жидкости

Вязкость, теплопроводность, диффузия в жидкостях и газах. Простейший реологический закон Ньютона. Динамический и кинематический коэффициенты вязкости. Обобщенный закон Ньютона. Реологические законы некоторых неньютоновских жидкостей. Уравнения Навье – Стокса динамики несжимаемой жидкости. Подобие потоков вязкой жидкости. Числа и критерии подобия (Струхалея, Эйлера, Фруда, Рейнольдса). Ламинарное движение по цилиндрической трубе. Формулы Пуазейля. Закон сопротивления для течений в плоской трубе и трубе кругового сечения. Уравнение Гельмгольца переноса вихря в вязком течении. Диффузия вихревой нити. Обтекание сферы при малых числах Рейнольдса.

Основы теории ламинарного пограничного слоя в несжимаемой жидкости

Общие представления о пограничном слое. Уравнения Прандтля. Скорость на внешней границе слоя. Отрыв пограничного слоя. Пограничный слой на продольно обтекаемой пластине. Плоская затопленная струя. Автомодельность течений в пограничных слоях. Интегральные толщины пограничного слоя. Уравнение Кармана интегрального баланса импульса.

Элементы теории турбулентного движения жидкости

Явление перехода ламинарного движения в турбулентное. Критическое число Рейнольдса. Явление перемежаемости. Каскадная теория турбулентности. Масштабы турбулентности. Осредненные и пульсационные характеристики. Тензор турбулентных напряжений. Тепло- и массоперенос в турбулентном движении. Способы замыкания уравнений Рейнольдса. Локальный и интегральный подходы. Коэффициент турбулентной вязкости. Формулы Прандтля и Кармана для напряжения турбулентного трения. Краткий обзор современных моделей турбулентности. Пристеночное турбулентное движение. Вязкий подслой, буферная область, турбулентное ядро. Формулы сопротивления движению для гладких труб. Влияние шероховатости стенки. Явление кризиса обтекания и сопротивления плохобтекаемых тел. Турбулентный пограничный слой. Эмпирический и полуэмпирический методы расчета турбулентного пограничного слоя на пластине.

2.4.Перечень вопросов для теоретического экзамена

1. Методы Эйлера и Лагранжа задания движения текучей среды.
2. Линии, поверхности и трубки тока. Траектории, траекторные поверхности, струи.
3. Первая теорема Гельмгольца. Тензор скоростей деформаций. Скорость относительного объемного расширения.
4. Вихри. Вихревые линии, поверхности и трубки. Вторая теорема Гельмгольца.
5. Циркуляция вектора скорости. Гидродинамическая теорема Стокса.
6. Индивидуальная (лагранжева), локальная и конвективная производные по времени. Ускорение и его составные части.
7. Плотность распределения массы. Уравнение неразрывности.
8. Объемные и поверхностные силы. Формула Коши. Тензор напряжений.
9. Закон сохранения (баланса) количества движения (импульса).

10. Закон сохранения (баланса) момента количества движения.
11. Закон сохранения (баланса) полной энергии. Уравнения баланса кинетической и внутренней энергии.
12. Уравнения гидроаэростатики. Равновесие в изотермической атмосфере.
13. Модель идеальной (невязкой) текучей среды. Тензор напряжений для такой среды.
14. Уравнения баланса импульса и энергии в идеальной среде. Баротропность, функция давления.
15. Уравнение Бернулли. Частные случаи выражения уравнения Бернулли.
16. Уравнения баланса энтальпии и полной энтальпии. Изэнтропичность адиабатического движения идеального газа.
17. Задача о распространении малых возмущений. Скорость звука. Линии возмущений, конус возмущений.
18. Число Маха и скоростной коэффициент. Изэнтропические формулы через M и Π .
19. Одномерное течение газа по трубе переменного сечения. Уравнение Гюгонио. Истечение газа из резервуара. Явление запираания канала.
20. Элементарная теория работы сопла Лавалья.
21. Образование ударной волны (скачка уплотнения). Инварианты параметров газа в скачке (уравнения сохранения массы, импульса и энергии).
22. Ударная адиабата Гюгонио. Формула Прандтля $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{\Pi}$. Связи между параметрами газа до- и после скачка.
23. Понятие плоского движения. Потенциал скорости для безвихревого движения. Функция тока в плоском движении. Дифференциальное уравнение для функции тока в безвихревом движении.
24. Уравнения плоского безвихревого движения идеального газа. Линеаризация данных уравнений.
25. Дозвуковое обтекание тонкого профиля. Формулы Прандтля – Глауэрта.
26. Сверхзвуковое обтекание тонкого профиля. Формулы Аккерета.
27. Течение Прандтля – Майера.
28. Косой скачок уплотнения.
29. Пространственное безвихревое течение идеальной несжимаемой жидкости. Функция тока в пространственных потоках.
30. Обтекание сферы однородным потоком. Парадокс Даламбера для тела произвольной формы.
31. Явления вязкости, теплопроводности и диффузии в жидкостях и газах. Простейший реологический закон Ньютона. Динамический и кинематический коэффициенты вязкости.
32. Обобщенный закон Ньютона. Уравнения Навье – Стокса динамики несжимаемой жидкости. Граничные условия для данных уравнений.
33. Подобие течений вязкой несжимаемой жидкости. Числа и критерии подобия.
34. Ламинарное установившееся движение по цилиндрической трубе.
35. Уравнение Гельмгольца переноса вихря в вязкой жидкости. Диффузия вихревой нити. Диссипация механической энергии в вязкой жидкости.

36. Ламинарный пограничный слой в несжимаемой жидкости. Вывод уравнений Прандтля пограничного слоя.
37. Отрыв пограничного слоя.
38. Задача о пограничном слое на продольно обтекаемой пластине. Автомодельность. Интегральные толщины пограничного слоя.
39. Задача о плоской затопленной ступе.
40. Явление перехода ламинарного движения в турбулентное. Каскадная теория турбулентности. Масштабы турбулентности.
41. Осредненные и пульсационные величины. Уравнение Рейнольдса осредненного турбулентного движения. Тензор турбулентных напряжений.
42. Способы замыкания уравнений Рейнольдса. Коэффициент турбулентной вязкости. Формулы Прандтля и Кармана.
43. Пристеночное турбулентное движение. Вязкий подслой, буферная область, турбулентное ядро. Двухслойная модель турбулентности.
44. Формулы сопротивления движению для гладких труб. Влияние шероховатости на сопротивление.
45. Кризис обтекания и сопротивления плохообтекаемых тел. Турбулентный пограничный слой. Эмпирический метод расчета турбулентного пограничного слоя на пластине

2.5. Критерии оценки теоретического экзамена

Оценка знаний поступающего в аспирантуру производится по сто бальной шкале.

100 баллов выставляется экзаменационной комиссией за обстоятельный и обоснованный ответ на все вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Поступающий в аспирантуру в процессе ответа на вопросы экзаменационного билета правильно определяет основные понятия, свободно ориентируется в теоретическом и практическом материале по предложенной тематике.

75 баллов выставляется поступающему в аспирантуру за правильные и достаточно полные ответы на вопросы экзаменационного билета, которые не содержат грубых ошибок и неточностей в трактовке основных понятий и категорий, но в процессе ответа возникли определенные затруднения при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.

50 баллов выставляется поступающему в аспирантуру при недостаточно полном и обоснованном ответе на вопросы экзаменационного билета и при возникновении серьезных затруднений при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.

0 баллов выставляется в случае отсутствия необходимых для ответа на вопросы экзаменационного билета теоретических и практических знаний.

2.6. Список рекомендуемой литературы

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа.–М.:Дрофа, 2003.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика / 5-е изд., стер. – 2003. - 731 с.
3. Гиргидов А. Д. Механика жидкости и газа (гидравлика) / 2-е изд., испр. и доп. – СПб. Изд-во СПбГПУ, 2003 . – 544 с.
4. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. I, II. 5-е изд. М.: Наука, 1994.
5. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. 10-е изд. М.: Наука, 1987.
6. Черный Г.Г. Газовая динамика. М.: Наука. 1988.

Приложение

Сведения об достижениях портфолио кандидата для поступления по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре СПбПУ

(Ф.И.О. кандидата для поступления в аспирантуру)			
(научная специальность)			
№ п/п	Индивидуальное достижение	Количество баллов за каждое достижение	Рейтинговая оценка показателя, общий балл
1.	Научные публикации (тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе): в журналах перечня ВАК;	10	
	в журналах индексируемых в Scopus и (или) WoS (в том числе входящих в базу данных RSCI) Q1 или Q2;	25	
	в журналах индексируемых в Scopus и (или) WoS (в том числе входящих в базу данных RSCI) Q3 или Q4.	15	
2.	Гранты, проекты по выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, тематика которых соответствует направлению подготовки в конкурсе, по которому участвует поступающий, и в которых он являлся:		
	руководителем,	10	
	исполнителем.	5	
3.	Наличие документа, удостоверяющего авторство (соавторство) поступающего на достигнутый им научный (научно-методический, научно-технический, научно-творческий) результат интеллектуальной деятельности:		
	– патент на изобретение;	10	
	– патент на полезную модель;	7	
	– свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ;	5	
	– свидетельство о государственной регистрации базы данных;	5	
	– свидетельство о государственной регистрации топологии интегральных микросхем.	5	
4.	Публикация в материалах международных и всероссийских научно-технических конференций, включая публикации в выпусках научных журналов, публикующих статьи по итогам конференций (изданиях типа Conference series и(или) Proceedings), проводимых не ранее чем за 2 года, предшествующих приему (тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе): за конференцию, индексируемую в базе данных Web of Science и (или) Scopus (индексация сборника или журнала с публикацией подтверждается ссылкой или скриншотом из базы данных);	5	
	за прочие конференции.	3	
5.	Наличие дипломов победителей мероприятий международного и всероссийского значения, подтверждающие успехи в профессиональной подготовке кандидата для поступления в аспирантуру	3	
Суммарный рейтинговый балл			

Кандидат в аспирантуру

(подпись)

(Ф.И.О).

Предполагаемый научный руководитель

(подпись)

(Ф.И.О).

Руководитель образовательных программ по аспирантуре института

(подпись)

(Ф.И.О).