

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
алгебры и топологических
методов анализа


Звягин В.Г)
30.06.2018г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.07 Уравнения Навье-Стокса сжимаемой жидкости

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 01.04.01 Математика
2. Профиль подготовки/специализация: Математическое моделирование
3. Квалификация (степень) выпускника: Магистр
4. Форма обучения: Очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: Кафедра алгебры и топологических методов анализа
6. Составители программы: Плотников П.И., д.ф.-м.н.
7. Рекомендована: НМС математического факультета, протокол № 0500-07 от 03.07.2018 г.
8. Учебный год: 2018-2019 Семестр(ы): 1

9. Цели и задачи учебной дисциплины: Сформулировать у студента целостное понимание о математической дисциплине, устойчивые математические навыки, необходимые для изучения других специальных дисциплин; сформировать способность применения математических формализмов в профессиональной деятельности.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Блок 1, Вариативная часть.

Спецкурс «Уравнения Навье-Стокса сжимаемой жидкости» входит в профильную (вариативную) часть профессионального блока. Для её успешного изучения необходимо знание следующих курсов: математический анализ, дифференциальные уравнения, функциональный анализ, дифференциальные уравнения в частных производных, теоретическая механика, численные методы и др.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОК-1	способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу	<p>знать: природу и сущность математического знания, пути его достижения; сущность и значение математического образования; формы и источники математического самообразования;</p> <p>уметь: математически грамотно ставить задачу; анализировать и доказывать необходимые факты; аргументировано формулировать свои подходы к исследуемой научной задаче, методы ее решения; интерпретировать полученные результаты в терминах специалистов смежных научных дисциплин.</p> <p>владеть: широким научным кругозором, адекватным математическим и понятийным аппаратом</p>
ОПК-1	способность находить, формулировать и решать актуальные и значимые проблемы фундаментальной и прикладной математики	<p>знать: формулировки актуальных и значимых проблем фундаментальной и прикладной математики; понятия проблемной ситуации и проблема; этапы разрешения проблемы; методы решения проблемных ситуаций и проблем;</p> <p>уметь: применять математические модели; находить проблему в области фундаментальной и прикладной математики; формулировать проблему в области фундаментальной и прикладной математики - решать актуальные и значимые проблемы фундаментальной и прикладной математики</p> <p>владеть: методами математического моделирования при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных математических дисциплин и компьютерных наук - способностью находить, формулировать актуальные и значимые проблемы фундаментальной и прикладной математики; способностью решать актуальные и значимые проблемы фундаментальной и прикладной математики</p>
ОПК-2	способность создавать и исследовать новые математические модели в естественных науках	<p>знать: основные принципы построения математических моделей;</p> <p>уметь: формулировать и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской деятельности и требующие углубленных профессиональных знаний; выбирать необходимые методы исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы, исходя из задач конкретного исследования; обрабатывать полученные результаты, анализировать и осмысливать их с учетом имеющихся литературных данных; вести библиографическую работу с привлечением современных информационных технологий; представлять итоги проделанной работы в виде отчетов, рефератов, статей, оформленных в соответствии с имеющимися требованиями, с привлечением современных средств редактирования и печати; применять основные методы построения дискретных вероятностных математических моделей реальных объектов и делать на их основе правильные выводы.</p>

		Владеть: фундаментальными знаниями в области математического моделирования, навыками самостоятельной научно-исследовательской деятельности, требующей широкого образования в соответствующем направлении, способностью использовать полученные знания в профессиональной деятельности
ОПК-3	готовность самостоятельно создавать прикладные программные средства на основе современных информационных технологий и сетевых ресурсов	знать: основные методологические принципы и методы исследовательской деятельности, взаимосвязь методов научного исследования; основы составления прикладных программных средств и критерии научной информации. уметь: выявлять проблему, на решение которой будет направлено предстоящее исследование, выбрать метод исследования, обрабатывать полученные результаты и подготовить отчет как результат завершающей стадии исследовательской деятельности. владеть: навыками создания прикладных программных средств и навыками проектирования исследовательской деятельности.
ОПК-5	готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	знать и понимать актуальные задачи, стоящие перед научным коллективом, видеть пути их решения; особенности деятельности коллектива с различными языковыми проблемами; уметь: строить деловые отношения с членами коллектива, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия членов коллектива; видеть сильные стороны членов коллектива, поручая ответственные задания наиболее квалифицированным исполнителям; владеть: безусловным научным авторитетом, подтверждая его каждодневным квалифицированным трудом
ПК-3	способность публично представить собственные новые научные результаты	знать: требования к оформлению и содержанию научного отчета, статьи или доклада. уметь: готовить материалы для научного отчета, статьи или доклада. владеть: навыками научной и публичной речи, навыками выступлений с докладами на конференциях, семинарах.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.(в соответствии с учебным планом) — 5/180.

Форма промежуточной аттестации экзамен.

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		1
Аудиторные занятия	44	44
в том числе: лекции	18	18
практические	26	26
лабораторные		
Самостоятельная работа	100	100
Форма промежуточной аттестации - экзамен	36	Экзамен - 36
Итого:	180	180

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Математические основы теории уравнений динамики Навье-Стокса сжимаемой жидкости.	Пространства Соболева. Операторы Рисса. Основные факты из теории потенциала. Элементы теории транспортных уравнений. Понятие ренормализации. Теорема Ди Перно Лионса о ренормализации решений транспортных уравнений. Принципы компактности. Теорема Дубинского-Лионса-Симона о компактности отображений числовой оси в нормированное пространство. Принцип компенсированной компактности, curl-div лемма.
1.2	Теоремы существования решений уравнений Навье-Стокса сжимаемой жидкости.	Формулировка основных краевых задачи для уравнений Навье-Стокса сжимаемой жидкости. Законы сохранения. Конституционные соотношения. Энергетические оценки. Слабые ренормализованные решения уравнений Навье-Стокса динамики сжимаемой жидкости. Метод многоступенчатой регуляризации. Теорема П. Лионса о слабой непрерывности вязкого потока. Компактность множества приближенных решений, удовлетворяющих энергетической оценке. Теорема о существовании ренормализованных обобщенных решений уравнений Навье-Стокса динамики вязкой жидкости для больших значений показателя адиабаты
2. Практические занятия		
2.1	Математические основы теории уравнений динамики Навье-Стокса сжимаемой жидкости.	Пространства Соболева. Принципы компактности. Принцип компенсированной компактности.
2.2	Теоремы существования решений уравнений Навье-Стокса сжимаемой жидкости.	Законы сохранения. Энергетические оценки. Метод многоступенчатой регуляризации.
3. Лабораторные работы		
3.1		

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Математический аппарат теории уравнений Навье-Стокса динамики вязкой несжимаемой жидкости	9	14	-	52	75
2.	Теоремы существования решений уравнений Навье-Стокса динамики вязкой сжимаемой жидкости	9	12	-	48	69
	Итого:	18	26		100	144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины
 работа с конспектами лекций, выполнение практических заданий.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Звягин В.Г. Математические вопросы гидродинамики вязкоупругих сред / В.Г. Звягин, М.В. Турбин .— М. : URSS, 2012 .— 412 с. : ил. — Библиогр.: с.400-412 .— ISBN 978-5-396-00458-0.
2.	Звягин В.Г. Аттракторы для уравнений моделей движения вязкоупругих сред : учебное

	пособие / В.Г. Звягин, С.К. Кондратьев ; Воронеж. гос. ун-т .— Воронеж : ИПЦ ВГУ : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2010.— 264 с. — Библиогр.: с.260-264 .— ISBN 978-5-9273-1726-4.
--	--

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3.	P.-L. Lions, Mathematical Topics in Fluid Dynamics, Vol.2, Compressible Models, Clarendon Press, Oxford, 1998.
4.	E. Feireisl, Dynamics of Viscous Compressible Fluids, Oxford Univ. Press, Oxford, 2004.
5.	G.Galdi, An Introduction to the Mathematical Theory of the Navier-Stokes Equations. Vol. I. Linearized Steady Problems, Springer, Berlin, 1994; 2nd ed., 2011.
6.	A.Novotn'y, I.Straskraba, Introduction to the Mathematical Theory of Compressible Flow, Oxford Univ. Press, Oxford, 2004.
7.	P. Plotnikov J. Sokolowski, Compressible Navier-Stokes Equations - Theory and Shape Optimization. Springer, Basel, 2012
8.	Ладыженская О.А. Математические вопросы динамики вязкой несжимаемой жидкости / О.А. Ладыженская.—М.: Наука, 1970.—288с
9.	Фурсиков А. В. Оптимальное управление распределенными системами. Теория и приложения: учеб. пособие для мат. специальностей вузов / А. В. Фурсиков.— Новосибирск: Науч. кн., 1999.—350 с.
10.	Бесов О.В. Интегральные представления функций и теоремы вложения / О.В.Бесов, В.П.Ильин, С.М.Никольский. – М.: Наука, 1975. – 480 с.
11.	Соболев С.Л. Некоторые применения функционального анализа в математической физике / С.Л.Соболев.- М.: Наука, 1988. – 333 с.
12.	Соболев С.Л. Некоторые применения функционального анализа в математической физике / С.Л.Соболев.- М.: Наука, 1988. – 333 с.
13.	Лионс Ж.Л. Некоторые методы решения нелинейных краевых задач / Ж.Л. Лионс.- М.: Мир, 1972. – 587 с.
14.	E.Feireisl, A.H.Novotny, Singular Limits in Thermodynamics of Viscous Fluids, Birkhauser, Basel, 2009.
15.	E.Feireisl, A.H.Novotny, H.Petzeltova, On the existence of globally defined weak solutions to the Navier-Stokes equations, J. Math. Fluid Mech. V. 3, 2001, 358-392.
16.	R.J.Di Perna, P.L.Lions, Ordinary differential equations, transport theory and Sobolev spaces, Invent. Math. V.48, 1989, 511-547.
17.	L.C.Evans, R.F. Gariepy, Measure Theory and Fine Properties of Functions, CRC Press, Boca Raton, FL,
18.	C.~De Lellis, Notes on hyperbolic systems of, conservation laws and transport equations, in: Handbook of Differential Equations: Evolutionary Equations, Vol. III, Elsevier/North-Holland, Amsterdam, 2007, 277-382.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет):

№ п/п	Ресурс
1.	Электронный каталог ЗНБ ВГУ http://www.lib.vsu.ru/?p=4
2.	Электронно-библиотечная система Лань https://e.lanbook.com/

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	Звягин В.Г. Математические вопросы гидродинамики вязкоупругих сред / В.Г. Звягин, М.В. Турбин .— М. : URSS, 2012 .— 412 с. : ил. — Библиогр.: с.400-412 .— ISBN 978-5-396-00458-0.
2.	Лионс Ж.Л. Некоторые методы решения нелинейных краевых задач / Ж.Л. Лионс.- М.: Мир, 1972. – 587 с.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1).	<p>знать: природу и сущность математического знания, пути его достижения; сущность и значение математического образования; формы и источники математического самообразования;</p> <p>уметь: математически грамотно ставить задачу; анализировать и доказывать необходимые факты; аргументировано формулировать свои подходы к исследуемой научной задаче, методы ее решения; интерпретировать полученные результаты в терминах специалистов смежных научных дисциплин.</p> <p>владеть: широким научным кругозором, адекватным математическим и понятийным аппаратом</p>	<p>1. Математический аппарат теории уравнений Навье-Стокса динамики вязкой несжимаемой жидкости</p> <p>2. Теоремы существования решений уравнений Навье-Стокса динамики вязкой сжимаемой жидкости</p>	Практическое задание
<p>способность находить, формулировать и решать актуальные и значимые проблемы фундаментальной и прикладной математики (ОПК-1);</p> <p>способность создавать и исследовать новые математические модели в естественных науках (ОПК-2);</p> <p>готовность самостоятельно создавать прикладные программные средства на основе современных информационных технологий и</p>	<p>знать: формулировки актуальных и значимых проблем фундаментальной и прикладной математики; понятия проблемной ситуации и проблема; этапы разрешения проблемы; методы решения проблемных ситуаций и проблем;</p> <p>уметь: применять математические модели; находить проблему в области фундаментальной и прикладной математики; формулировать проблему в области фундаментальной и прикладной математики - решать актуальные и значимые проблемы фундаментальной и прикладной математики</p> <p>владеть: методами математического моделирования при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных математических дисциплин и компьютерных наук - способностью находить, формулировать актуальные и значимые проблемы фундаментальной и прикладной математики;</p> <p>способностью решать актуальные и значимые проблемы фундаментальной и прикладной математики.</p> <p>знать: основные принципы построения математических моделей;</p> <p>уметь: формулировать и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской деятельности и требующие углубленных профессиональных знаний; выбирать необходимые методы исследования,</p>		

<p>сетевых ресурсов (ОПК-3); готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия (ОПК-5).</p>	<p>модифицировать существующие и разрабатывать новые методы, исходя из задач конкретного исследования; обрабатывать полученные результаты, анализировать и осмысливать их с учетом имеющихся литературных данных; вести библиографическую работу с привлечением современных информационных технологий; представлять итоги проделанной работы в виде отчетов, рефератов, статей, оформленных в соответствии с имеющимися требованиями, с привлечением современных средств редактирования и печати; применять основные методы построения дискретных вероятностных математических моделей реальных объектов и делать на их основе правильные выводы. Владеть: фундаментальными знаниями в области математического моделирования, навыками самостоятельной научно-исследовательской деятельности, требующей широкого образования в соответствующем направлении, способностью использовать полученные знания в профессиональной деятельности знать: основные методологические принципы и методы исследовательской деятельности, взаимосвязь методов научного исследования; основы составления прикладных программных средств и критерии научной информации. уметь: выявлять проблему, на решение которой будет направлено предстоящее исследование, выбрать метод исследования, обрабатывать полученные результаты и подготовить отчет как результат завершающей стадии исследовательской деятельности. владеть: навыками создания прикладных программных средств и навыками проектирования исследовательской деятельности знать и понимать актуальные задачи, стоящие перед научным коллективом, видеть пути их решения; особенности деятельности коллектива с различными языковыми проблемами; уметь: строить деловые отношения с членами коллектива, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия членов коллектива; видеть сильные стороны членов коллектива, поручая ответственные задания наиболее квалифицированным исполнителям; владеть: безусловным научным авторитетом, подтверждая его каждодневным квалифицированным трудом знать и понимать актуальные задачи, стоящие перед научным коллективом, видеть пути их решения; особенности деятельности коллектива с различными языковыми проблемами; уметь: строить деловые отношения с членами коллектива, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия членов коллектива; видеть сильные стороны членов коллектива, поручая ответственные задания наиболее квалифицированным исполнителям;</p>		
---	---	--	--

	владеть: безусловным научным авторитетом, подтверждая его каждодневным квалифицированным трудом		
способность публично представить собственные новые научные результаты (ПК-3).	знать: требования к оформлению и содержанию научного отчета, статьи или доклада. уметь: готовить материалы для научного отчета, статьи или доклада. владеть: навыками научной и публичной речи, навыками выступлений с докладами на конференциях, семинарах.		
Промежуточная аттестация			

* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на экзамене/зачете используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1):

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 4) умение решать практические задачи;
- 5) владение методами, используемыми для исследования уравнений Навье-Стокса сжимаемой жидкости

Для оценивания результатов обучения на экзамене (зачете с оценкой) используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Для оценивания результатов обучения на зачете используется – зачтено, не зачтено. Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное соответствие ответа обучающегося всем перечисленным критериям. Продемонстрировано знание учебного материала, умение связывать теорию с практикой, владение методами, используемыми для исследования уравнений Навье-Стокса сжимаемой жидкости.	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
Недостаточно продемонстрировано владение методами, используемыми для исследования уравнений Навье-Стокса сжимаемой жидкости, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Обучающийся владеет теоретическими основами дисциплины, допускает незначительные ошибки в доказательствах.	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
Обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Демонстрирует частичные знания методов, используемых для исследования уравнений Навье-Стокса сжимаемой жидкости, допускает существенные ошибки в доказательствах.	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки в формулировках определений и теорем, не может решать практические задания.	–	<i>Неудовлетворительно</i>

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1 Перечень вопросов к экзамену (зачету):

1. Пространства Соболева. Операторы Рисса.
2. Основные факты из теории потенциала. Элементы теории транспортных уравнений.
3. Понятие ренормализации. Теорема Ди Перно Лионса о ренормализации решений транспортных уравнений.
4. Принципы компактности. Теорема Дубинского-Лионса-Симона о компактности отображений числовой оси в нормированное пространство. Принцип компенсированной компактности, curl-div лемма.
5. Формулировка основных краевых задачи для уравнений Навье-Стокса сжимаемой жидкости.
6. Законы сохранения. Конституционные соотношения. Энергетические оценки.
7. Слабые ренормализованные решения уравнений Навье-Стокса динамики сжимаемой жидкости.
8. Метод многоступенчатой регуляризации. Теорема П. Лионса о слабой непрерывности вязкого потока.
9. Компактность множества приближенных решений, удовлетворяющих энергетической оценке.
10. Теорема о существовании ренормализованных обобщенных решений уравнений Навье-Стокса динамики вязкой жидкости для больших значений показателя адиабаты

19.3.2 Перечень практических заданий

1. Пространства Соболева.
2. Принципы компактности.
3. Принцип компенсированной компактности.
4. Законы сохранения.
5. Энергетические оценки.
6. Метод многоступенчатой регуляризации.

19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в формах: *устного опроса (индивидуальный опрос); письменных работ (выполнение практико-ориентированных заданий)*. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практические задания, позволяющие оценить степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.

Программа рекомендована НМС математического факультета, протокол № 0500-07 от 03.07.2018 г