

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Г.Прохоренко

22 декабря 2023 г.

Регистрационный № УД- 13859/уч.



ВОЛНЫ В ЖИДКОСТЯХ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

2023 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31 03 02-2021, учебных планов № G31-1-029/уч. от 30.06.2021, № G31-1-029/уч.СИБД от 30.06.2021.

СОСТАВИТЕЛИ:

Протопопов Борис Егорович, доцент кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук;

Конон Павел Николаевич, доцент кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Чорный Андрей Дмитриевич – заведующий лабораторией турбулентности ИТМО им. А.В. Лыкова НАН РБ, доцент, кандидат физико-математических наук;

Видякин Василий Владимирович – директор Научно-производственного общества с ограниченной ответственностью «ГЕОСПЛАЙН», кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики БГУ
(протокол № 10 от 19.05.2023)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 4 от 21.12.2023)

Заведующий кафедрой



М.А. Журавков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины является получение знаний об основных математических моделях волновых движений жидкости; ознакомление с методами построения более простых, приближённых моделей; усвоение основных понятий, определений, характеристик, параметров, связанных с волнами в жидкостях; изучение способов построения точных и приближённых решений конкретных волновых задач; приобретение навыков качественного и количественного анализа построенных решений.

Задачами дисциплины являются:

- формирование у студентов базовых знаний в области волновых течений жидкостей и газов;
- приобретение теоретических знаний для описания и моделирования волновых процессов в жидких средах;
- обучение методам аналитического и численного исследования сформулированных задач.

Место учебной дисциплины. В системе подготовки специалиста с высшим образованием учебная дисциплина «Волны в жидкостях» относится к дисциплинам специализации компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами.

Программа дисциплины «Волны в жидкостях» составлена с учетом межпредметных **связей** по смежным дисциплинам. Ее изучение базируется на знаниях дисциплин «Теория функции комплексного переменного», «Дифференциальные уравнения», «Уравнения математической физики», «Теоретическая механика», «Механика сплошных сред».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Волны в жидкостях» должно обеспечить формирование следующей **специализированной компетенции**:

СК-6. Применять методы и законы механики к исследованию робототехнических систем и решению прикладных задач механики.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

основные дифференциальные модели движения жидкости со свободной поверхностью, с границами раздела между слоями разной плотности и с непрерывной стратификацией по плотности;

способы построения линейных, нелинейных, нелинейно-дисперсионных приближённых моделей волновых движений жидкости;

точные решения типа бегущих волн для приближённых нелинейно-дисперсионных моделей;

приближённые решения типа бегущих волн в точных моделях;

эффекты поверхностного натяжения и качественные особенности капиллярных волн; основные эффекты стратификации;

уметь:

решать классические задачи по всем разделам курса; применять полученные знания для решения конкретных практических задач, связанных с волновыми движениями жидкости.

владеть:

методами построения математических моделей гидродинамических задач волнообразования в жидкостях;

современными аналитическими и численными методами и приёмами решения практических задач, связанных с волновыми движениями жидкостей;

навыками самообразования и способами использования изученного аппарата для проведения самостоятельных исследований.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 6 семестре очной формы получения высшего образования. Всего на изучение учебной дисциплины «Волны в жидкостях» отведено: 104 часа, в том числе 54 аудиторных часа, из них: лекции – 16 часов, лабораторные занятия – 38 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачёт.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Уравнения Эйлера.

Граничные условия. Начальные условия. Задача на давление. Выделение эволюционной и эллиптической частей задач.

Тема 2. Модель потенциального движения невязкой несжимаемой жидкости.

Некоторые упрощающие предположения. Линейная постановка. Дисперсионное соотношение.

Тема 3. Гармонические волны.

Синусоидальные волны. Траектории частиц. Трохоидальные волны Гёрстнера. Волны Гельмгольца. Прогрессирующая волна постоянной формы на поверхности несжимаемой жидкости бесконечной глубины. Свободная поверхность волн – перевернутая трохоида или циклоида с острыми гребнями и плоскими впадинами.

Тема 4. Метод Лагранжа построения приближённых моделей.

Уравнения мелкой воды. Нелинейно-дисперсионные модели. Слабо нелинейные модели. Уравнения Буссинеска. Дисперсионные соотношения приближённых моделей.

Тема 5. Бегущие волны.

Уединённая волна (уравнения Буссинеска). Уединённая волна для уравнения Кортевега-де Фриза. Уединённая волна в потенциальной модели.

Тема 6. Кноидальные волны.

Основные характеристики кноидальных волн. Эллиптический и нелинейный характеры. Эллиптические функции. Пространственная периодичность. Использование кноидальных волн для моделирования и изучения различных нелинейных явлений в физике. Применение кноидальных волн в радиоэлектронике для создания сложных сигналов и в процессе передачи информации, гидродинамике, радиоэлектронике, оптике и других областях.

Тема 7. Волны Стокса.

Волны Стокса в потенциальной модели.

Тема 8. Поверхностное натяжение.

Кривизна линии и кривизны поверхности. Капиллярные волны.

Тема 9. Уравнения движения многослойной жидкости.

Дисперсионное соотношение. Неустойчивости Рэлея-Тейлора и Кельвина-Гельмгольца.

Тема 10. Лагранжевы приближения для двуслойной жидкости.
Бегущие волны на границе раздела.

Тема 11. Уравнения движения жидкости с непрерывной стратификацией.

Частота Брента – Вайсяля или частота плавучести. Осциллирование элемента жидкости при его вертикальном перемещении в сплошной стратифицированной среде. Дисперсионные соотношения.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСП	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	Волны в жидкостях							
1	Уравнения Эйлера.	2			2			собеседование
2	Модель потенциального движения невязкой несжимаемой жидкости.				4			собеседование
3	Гармонические волны.	2			2			собеседование
4	Метод Лагранжа построения приближённых моделей.	2			4			отчет
5	Бегущие волны.	2			2			собеседование
6	Кноидальные волны.				4			собеседование
7	Волны Стокса.	2			4			отчет
8	Поверхностное натяжение. Капиллярные волны.	2			4			собеседование
9	Уравнения движения многослойной жидкости.				4			отчет
10	Лагранжевы приближения для двуслойной жидкости.	2			4			собеседование
11	Уравнения движения жидкости с непрерывной стратификацией.	2			4			контрольная работа
	Итого	16			38			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. — М.: Мир, 1977. 622 с.
2. Алексеенко С.В., Накоряков В. Е., Покусаев Б. Г. Волновое течение пленок жидкости - Новосибирск : Наука, 1992. - 253 с.
3. Гаврилюк С.Л., Макаренко Н.И., Сухинин С.В. Волны в сплошных средах (электронное учебное пособие). — Новосибирск: НГУ, 2011. 114 с.
4. Протопопов Б.Е. Волны в жидкостях (электронное учебное пособие). — Минск: БГУ, 2014. 150 с.
5. Диевский, В. А. Волны в жидкостях: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Прикладная механика" / В. А. Диевский. - Изд. 6-е, стер. - Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2023. - 346 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/238736>.

Перечень дополнительной литературы

1. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч.1. — М.: Физматгиз, 1963. 584 с.
2. Овсянников Л.В., Макаренко Н.И., Налимов В.И. и др. Нелинейные проблемы теории поверхностных и внутренних волн. — Новосибирск: Наука, 1985. 320 с.
3. Сретенский Л.Н. Теория волновых движений жидкости. — М.: Наука, 1977. 816 с.
4. Стокер Дж.Дж. Волны на воде. — М.: Иностран. лит., 1959. 618 с.
5. Лайтхилл Дж. Волны в жидкостях. — М.: Мир, 1981. 598 с.
6. Debnath J. Nonlinear water waves. — San Diego, London: Academic Press, 1994. 544 p.
7. Yih C.S. Stratified flows. — N.-Y.: Academic Press, 1980. 418 p.
8. Эглит М.Э. (ред.) Механика сплошных сред в задачах. Т.1. Теория и задачи. — М.: Моск. Лицей, 1996. 396 с.
9. Эглит М.Э. (ред.) Механика сплошных сред в задачах. Т.2. Ответы и решения. — М.: Моск. Лицей, 1996. 394 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Волны в жидкостях» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- отчеты по лабораторным работам;
- собеседования на аудиторных занятиях;
- контрольная работа.

Оценка за ответы на лекциях (опрос) и выполнение отчетов по лабораторным работам включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Волны в жидкостях» учебным планом предусмотрен **зачёт**.

Примерный перечень лабораторных занятий

Лабораторная работа № 1. Исследование трохoidalных волн Гёрстнера.

Лабораторная работа № 2. Исследование уединённых волн, как решения уравнения Кортевега-де Фриза.

Лабораторная работа № 3. Исследование неустойчивостей Рэлея-Тейлора и Кельвина-Гельмгольца в течениях с поверхностью раздела в поле поверхностных сил.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- использование процедур, способов оценивания, фиксирующих формирование профессиональных компетенций.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

При изучении учебной дисциплины организация самостоятельной работы студентов должна представлять единство трех взаимосвязанных форм:

- 1) внеаудиторная самостоятельная работа;
- 2) аудиторная самостоятельная работа, которая осуществляется под непосредственным руководством преподавателя;
- 3) творческая, в том числе научно-исследовательская работа.

На лекционных занятиях по дисциплине «Волны в жидкостях» рекомендуется контролировать усвоение учебного материала студентов путем проведения экспресс-опросов по темам дисциплины. При этом необходимо

фиксировать внимание на использование изученных терминов, принципов и законов для соответствующих моделей.

На лабораторных занятиях по дисциплине «Волны в жидкостях» рекомендуется применять вариативные индивидуальные, в том числе исследовательские, задания для студентов с целью приобретения навыков самостоятельного решения практических задач.

В силу различного уровня готовности студентов к восприятию новых понятий на лабораторных занятиях по дисциплине рекомендуется проводить регулярные самостоятельные работы и при необходимости проводить дополнительные консультации для объяснения и закрепления сложного материала.

Условия для самостоятельной работы студентов, в частности, для развития навыков самоконтроля, способствующих интенсификации учебного процесса, обеспечиваются наличием и полной доступностью электронных вариантов курсов лекций, учебно-методических пособий и сборников задач по основным разделам дисциплины.

Примерный перечень вопросов к зачёту

1. Уравнения Эйлера движения идеальной жидкости. Эйлера. Граничные условия и начальные условия.
2. Модель потенциального движения невязкой несжимаемой жидкости. Линейная постановка. Дисперсионное соотношение.
3. Гармонические волны. Синусоидальные волны. Траектории частиц.
4. Трохоидальные волны Гёрстнера.
5. Волны Гельмгольца.
6. Прогрессирующая волна постоянной формы на поверхности несжимаемой жидкости бесконечной глубины.
7. Метод Лагранжа построения приближённых моделей. Уравнения мелкой воды.
8. Нелинейно-дисперсионные модели. Слабо нелинейные модели.
9. Уравнения Буссинеска. Дисперсионные соотношения приближённых моделей.
10. Бегущие волны. Уединённая волны, как решения уравнений Буссинеска и Кортевега-де Фриза. Уединённая волна в потенциальной модели.
11. Кноидальные волны и их характеристики.
12. Использование кноидальных волн для моделирования и изучения различных нелинейных явлений в физике.
13. Применение кноидальных волн в радиоэлектронике для создания сложных сигналов и в процессе передачи информации, гидродинамике, радиоэлектронике, оптике и других областях.
14. Волны Стокса в потенциальной модели.
15. Кривизна линии и кривизны поверхности. Капиллярные волны.

16. Уравнения движения многослойной жидкости с поверхностями раздела. Дисперсионное соотношение. Неустойчивости Рэлея-Тейлора и Кельвина-Гельмгольца.

17. Лагранжевы приближения для двуслойной жидкости. Бегущие волны на границе раздела.

18. Уравнения движения жидкости с непрерывной стратификацией. Частота Брента – Вайсяля или частота плавучести. Дисперсионные соотношения.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой

19.05.2023

М.А. Журавков

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИЗУЧАЕМОЙ
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**
на ____/____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
