

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король

24 декабря 2024 г.

Регистрационный №УД- 13861/уч.



ВОЛНЫ В ЖИДКОСТЯХ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2022 и учебного плана № G31-1-209/уч от 22.03.2022, № G31-1-209/уч-СИБД от 22.03.2022.

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 № 6 от 05.12.2024)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 5 от 19.12.2024)

Заведующий кафедрой



М.А.Журавков



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Изучение форм волн требует разработки математических моделей, которые описывают динамику жидкости. Эти модели могут быть использованы для предсказания поведения волн в различных условиях и для решения различных инженерных задач.

Механические волны в жидкостях могут быть как продольными (сжатие-разрежение), так и поперечными (сдвиговыми), а также гравитационными и капиллярными. Изучение их поведения позволяет лучше понять общие принципы волновой динамики.

Изучение волн в жидкостях помогает лучше понять такие свойства жидкостей, как вязкость, поверхностное натяжение и упругость, которые определяют характеристики распространения волн.

Изучение форм волн в жидкостях крайне актуально по нескольким причинам. Во-первых, волны в жидкостях играют ключевую роль в различных природных явлениях, таких как образование цунами, приливные волны и волнение на море. Понимание этих процессов необходимо для прогнозирования и смягчения последствий стихийных бедствий. Во-вторых, знание форм волн позволяет оптимизировать процессы в судостроении и гидроэнергетике, где волнение оказывает значительное влияние на эффективность работы. В-третьих, изучение волн в жидкостях имеет важное значение для фундаментальной науки, поскольку оно позволяет лучше понять свойства жидкостей и принципы распространения различных типов волн.

Природные волны цунами, возникающие в результате землетрясений или извержений вулканов, могут вызывать катастрофические разрушения на побережье. Изучение их форм, скорости распространения и взаимодействия с береговой линией необходимо для разработки систем раннего предупреждения и защиты.

Гравитационные волны, вызванные взаимодействием Луны и Солнца с Землей, формируют приливы и отливы, которые оказывают существенное влияние на жизнь прибрежных районов. Изучение этих волн помогает в планировании морских операций и использовании приливной энергии.

Волны на поверхности океанов и морей, вызванные ветром, играют важную роль в процессах перемешивания воды, переноса энергии и обмена газами между атмосферой и океаном. Понимание этих процессов необходимо для прогнозирования погоды и климатических изменений.

В судостроении знание форм волн позволяет разрабатывать обтекаемые корпуса судов, снижающие сопротивление воды и повышающие скорость и экономичность.

В гидроэнергетике изучение взаимодействия волн с волновыми электростанциями позволяет оптимизировать их конструкцию и повысить эффективность использования энергии волн.

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины является: формирование у студентов социальных знаний по вопросам математических моделей 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.

При изучении дисциплины вырабатываются навыки практического использования методов, предназначенных для математического моделирования движения жидких сред.

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.

Учебная программа составлена с учетом межпредметных связей и программ по дисциплинам: «Теория функции комплексного переменного», «Дифференциальные уравнения», «Уравнения математической физики», «Теоретическая механика», «Введение в механику сплошных сред», «Численные методы механики сплошных сред», «Механика жидкости и газа».

Изучение дисциплины «Волны в жидкостях» необходимо для дальнейшего изучения таких дисциплин, как: «Прикладные задачи механики деформируемого твердого тела», «Теория гидродинамической устойчивости», «Компьютерная механика», «Биомеханика», «Экспериментальная механика».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Волны в жидкостях» должно обеспечить формирование следующих **компетенций**:

Специализированные компетенции:

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. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Волны в жидкостях» отведено для очной формы получения высшего образования: 100 часов, в том числе 68 аудиторных часов, из них: лекции – 22 часа, лабораторные занятия – 42 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

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

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УРС	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Волны в жидкостях							
1	Уравнения Эйлера.	2			2			собеседование
2	Модель потенциального движения невязкой несжимаемой жидкости.	2			4			собеседование
3	Гармонические волны.	2			4			собеседование
4	Метод Лагранжа построения приближённых моделей.	2			4		2	отчет
5	Бегущие волны.	2			4			собеседование
6	Кноидальные волны.	2			4			собеседование
7	Волны Стокса.	2			4			отчет
8	Поверхностное натяжение. Капиллярные волны.	2			4			собеседование
9	Уравнения движения многослойной жидкости.	2			4		2	отчет
10	Лагранжевы приближения для двуслойной жидкости.	2			4			собеседование
11	Уравнения движения жидкости с непрерывной стратификацией.	2			4			контрольная работа
	Итого	22			42		4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Thomson, William Tyrrell. Theory of Vibration with Applications / William Tyrrell Thomson, Marie Dillon Dahleh. - 5th ed. - [London] : Pearson, 1997 - 544 с.
2. Kelly, S. Graham. Mechanical Vibrations: Theory and Applications / S. Graham Kelly. - [Boston : Cengage Learning, 2012]. - 672 с.
3. Диевский В.А. Теоретическая механика: 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>.
4. Vibration and Damping in Distributed Systems. Vol. 2 : WKB and Wave Methods, Visualization and Experimentation. - Boca Raton [et al.] : CRC Press, 1993. - 367 с. - (Studies in Advanced Mathematics).
5. Random Vibrations and Reliability: Proceedings of the IUTAM Symposium, held at Frankfurt/Oder (GDR) from October 31 to November 6, 1982 / ed. by Klaus Hennig ; Institute of Mechanics of the Academy of Sciences of the German Democratic Republic. - Berlin : Akademie-Verlag, 1983. - 367 с.
6. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. — М.: Мир, 1977. 622 с.
7. Алексеенко С.В., Накоряков В. Е., Покусаев Б. Г. Волновое течение пленок жидкости - Новосибирск : Наука, 1992. - 253 с.
8. Гаврилюк С.Л., Макаренко Н.И., Сухинин С.В. Волны в сплошных средах (электронное учебное пособие). — Новосибирск: НГУ, 2011. 114 с.
9. Протопопов Б.Е. Волны в жидкостях (электронное учебное пособие). — Минск: БГУ, 2014. 150 с.
10. 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>.

Дополнительная литература

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 сплошные 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.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

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

Для студентов, пропустивших контрольные мероприятия или получивших неудовлетворительную отметку, решение о повторном проведении контрольного мероприятия выносится в соответствии с Положением о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в Белорусском государственном университете.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- отчеты по лабораторным работам – 60 %;
- контрольная работа – 40%.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 4. Метод Лагранжа построения приближённых моделей.

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

Задание 1. Используя уравнения мелкой воды и нелинейно- дисперсионные модели, получить дисперсионные соотношения для определенных задач волновых течений (4ч).

Форма контроля – проверка индивидуального задания.

Тема 9. Уравнения движения многослойной жидкости.

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

Задание 2. Исследовать неустойчивость ветровых волн над поверхностью воды с учетом силы поверхностного натяжения и разных скоростей потоков двух сред (4ч).

Форма контроля – проверка индивидуального задания.

Примерная тематика 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 лабораторных задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- использование процедур, способов оценивания, фиксирующих формирование профессиональных компетенций.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

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 характеристик надежности, законов их распределения и соответствующих моделей.

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

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 теоретической и
прикладной механики
д-р физ.-мат. наук, профессор



М.А.Журавков

05.12.2024

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УО
на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

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

Заведующий кафедрой

(ученая степень, ученое звание)

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

(ученая степень, ученое звание)

(И.О.Фамилия)