

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

А.Л. Толстик

2017 г.

Регистрационный № УД- 5021 /уч.



ВОЛНЫ В ЖИДКОСТЯХ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

Минск 2017

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31 03 02 по специальности 1-31 03 02 Механика и математическое моделирование, утверждённого 30.08.2013 г. и учебного плана № G31-136/уч. от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

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

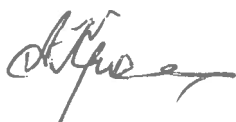
РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики Белорусского государственного университета

(протокол № 9 от 24.04.2017 г.)

Учебно-методической комиссией механико-математического факультета Белорусского государственного университета

(протокол № 5 от 27.06.2017 г.)



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Жидкость – это сплошная среда, обладающая очень большой подвижностью (способностью деформироваться). Благодаря этому она весьма подвержена различного рода волновым движениям, т.е. таким движениям, когда по среде передаются возмущения без переноса самой этой среды (точнее, с незначительным переносом). Причём волны могут образовываться как на поверхности жидкости, так и внутри неё (если жидкость неоднородна).

Поверхностные волны можно наблюдать повсеместно на любом открытом водоёме. Изучение этих волн полезно в корабельной гидродинамике, океанской инженерии (защита береговых сооружений и плавучих платформ) и т.д.

Внутренние волны не так заметны, как поверхностные, но при этом не менее важны. Примерами неоднородной по плотности (стратифицированной) среды являются атмосфера и мировой океан. Изучение внутренних волн может быть полезным в метеорологии, а также в уже упомянутых океанской инженерии и корабельной гидродинамике.

В курсе рассмотрены и эффекты поверхностного натяжения, знание которых необходимо в задачах фильтрации жидкостей, в материаловедении (получении кристаллов высокой чистоты в условиях микрогравитации) и т.д.

Данная учебная программа предназначена для студентов высших учебных заведений, основная специальность которых связана с механикой и математикой.

Цели дисциплины:

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

Задачи дисциплины:

- формирование установки на творческую профессиональную деятельность;
- развитие профессионального мышления, которое обеспечит будущему специалисту возможность свободно оперировать профессиональными знаниями, видеть проблемы и пути их решения в самостоятельной практической деятельности, выбирать оптимальные пути и методы осуществления решения;
- воспитание активной профессиональной позиции, умение вырабатывать и обосновывать свой подход к решению задач.

В результате изучения специальной дисциплины «Волны в жидкостях» студент должен
знать:

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

- способы построения линейных, не- линейных и 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:

- современными методами и приёмами решения практических задач, связанных с волновыми движениями жидкости;
- методами построения математических моделей, адекватных поставленным задачам о волнах в жидкости;
- навыками самообразования и способами использования изученного аппарата для проведения самостоятельных исследований.

Учебная дисциплина строится таким образом, чтобы обучающийся приобретал следующие **компетенции специалиста:**

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.
- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.
- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.
- СЛК-6. Уметь работать в команде.

ПК-1. Разрабатывать практические рекомендации по использованию научных исследований, планировать и проводить экспериментальные исследования, исследовать патентоспособность и показатели технического уровня разработок программного обеспечения информационных систем, разрабатывать научно-техническую документацию.

ПК-2. Применять современные методы проектирования информационных систем, использовать *Web*-сервисы, оформлять техническую документацию.

ПК-3. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

ПК-4. Разрабатывать и тестировать информационные системы, осуществлять защиту приложений и данных.

- ПК-5. Заниматься аналитической и научно-исследовательской деятельностью в области механики и прикладной математики.
- ПК-6. Использовать и развивать современные информационные технологии и средства автоматизации управленческой деятельности.
- ПК-7. Проводить исследования в области эффективности решения производственных задач.
- ПК-8. Работать с научной, нормативно-справочной и специальной литературой, разрабатывать и использовать современное учебно-методическое обеспечение.
- ПК-9. Вести преподавательскую работу в учреждениях высшего и среднего специального образования в соответствии с полученной квалификацией.
- ПК-12. Контролировать и поддерживать трудовую и производственную дисциплину.
- ПК-14. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.
- ПК-15. Анализировать и оценивать собранные данные.
- ПК-19. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.
- ПК-20. Владеть современными средствами телекоммуникаций.
- ПК-23. Определять цели инноваций и способы их достижения.
- ПК-24. Работать с научной, технической и патентной литературой.
- ПК-27. Разрабатывать новые информационные технологии на основе проектирования механических схем и систем, приводимым к математическим моделям и их оптимизациям.
- ПК-28. Применять методы анализа и организации внедрения инноваций.
- ПК-29. Реализовывать инновационные проекты в профессиональной деятельности.

На изучение специальной дисциплины «Волны в жидкостях» по специальности 1-31 03 02 «Механика и математическое моделирование», специализация 1-31 03 02 02 «Гидроаэродинамика» отводится в 6 семестре 3-го курса всего: 80 часов, из них аудиторных – 44 часов, по видам занятий: лекций – 20, лабораторных – 22, УСР – 2 часа. Форма текущей аттестации – зачёт.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. **Уравнения Эйлера. Граничные условия. Начальные условия. Задача на давление. Выделение эволюционной и эллиптической частей задач.**
2. **Модель потенциального движения невязкой несжимаемой жидкости. Некоторые упрощающие предположения. Линейная постановка. Дисперсионное соотношение.**
3. **Синусоидальные волны. Траектории частиц. Трохоидальные волны Гёрстнера.**
4. **Метод Лагранжа построения приближённых моделей. Уравнения мелкой воды. Нелинейно-дисперсионные модели. Слабо нелинейные модели. Уравнения Буссинеска. Дисперсионные соотношения приближённых моделей.**
5. **Бегущие волны. Уединённая волна (уравнения Буссинеска). Уединённая волна для уравнения Кортевега-де Вриза. Уединённая волна в потенциальной модели.**
6. **Кноидальные волны.**
7. **Волны Стокса. Волны Стокса в потенциальной модели.**
8. **Поверхностное натяжение. Кривизна линии и кривизны поверхности. Капиллярные волны.**
9. **Уравнения движения многослойной жидкости. Дисперсионное соотношение. Неустойчивости Рэлея-Тэйлора и Кельвина-Гельмгольца.**
10. **Лагранжевы приближения для двуслойной жидкости. Бегущие волны на границе раздела.**
11. **Уравнения движения жидкости с непрерывной стратификацией. Частота Брента-Вайсяля. Дисперсионные соотношения.**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов		Кол-во часов УСР	Формы контроля знаний
		лекции	лабораторные занятия		
1	Система уравнений Эйлера. Граничные и начальные условия	2	2		
2	Модель потенциального движения несжимаемой невязкой жидкости	2	2		Экспресс-опрос
3	Синусоидальные волны. Трохоидальные волны Гёрстнера	2	2		Экспресс-опрос
4	Метод Лагранжа построения приближённых моделей	2	2		
5	Уединённая волна	2	2		Экспресс-опрос
6	Кноидальные волны	2	2		
7	Волны Стокса	2	2		Экспресс-опрос
8	Поверхностное натяжение. Капиллярные волны	2	2		Экспресс-опрос
9	Уравнения движения многослойной жидкости	2	2		
10	Лагранжевы приближения для двуслойной жидкости	1	2		
11	Уравнения движения жидкости с непрерывной стратификацией	1	2		
	Проверка знаний по темам №№ 1-11.			2	Контрольная работа
Итого		20	22	2	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. *Протопопов Б.Е.* Волны в жидкостях (электронное учебное пособие). – Минск: БГУ, 2014. 150 с.
2. *Гаврилюк С.Л., Макаренко Н.И., Сухинин С.В.* Волны в сплошных средах (электронное учебное пособие). – Новосибирск: НГУ, 2011. 114 с.
3. *Уизем Дж.* Линейные и нелинейные волны. – М.: Мир, 1977. 622 с.

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-ра, 1959. 618 с.
5. *Лайтхилл Дж.* Волны в жидкостях. – М.: Мир, 1981. 598 с.
6. *Debnath L.* 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.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Самостоятельная работа студентов - это любая деятельность, связанная с воспитанием мышления будущего профессионала. В широком смысле под самостоятельной работой следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в учебной аудитории, так и вне её, в контакте с преподавателем и в его отсутствии.

Самостоятельная работа реализуется:

1. Непосредственно в процессе аудиторных занятий - на лекциях, практических и семинарских занятиях, при выполнении лабораторных работ.
2. В контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.
3. В библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре при выполнении самостоятельных работ;

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

1. Внеаудиторная работа, которая осуществляется под непосредственным руководством преподавателя;
2. Аудиторная самостоятельная работа при выполнении студентом учебных и творческих задач.
3. Творческая, в том числе научно-исследовательская работа.

Виды внеаудиторной самостоятельной работы студентов разнообразны: подготовка и написание рефератов, докладов, очерков и других письменных работ на заданные темы.

Аудиторная самостоятельная работа может реализовываться при проведении практических занятий, семинаров, выполнении лабораторного практикума и во время чтения лекций.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ДИАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Волны в жидкостях» проводится во время аудиторных занятий и во время защиты индивидуальных заданий. Для диагностики используются:

- экспресс-опрос на аудиторных занятиях;
- проверка контрольных работ .

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЗДАНИЙ УСР

1. На корабль, движущийся со скоростью U по глубокой воде, набегает волны длиной b , фронт которых образует угол θ с направлением движения корабля. Определить частоту ν ударов волн о корабль.

2. Форма поверхности жидкости образована сложением двух профилей $a \sin(k_1 x - \omega_1 t)$ и $a \sin(k_2 x - \omega_2 t)$, вследствие чего волны оказались разбитыми на группы. Гребни волн пробегают всю длину каждой группы за время T . Найти длину b волн в группах и длину B самих групп, если амплитуда волн мала, а вода глубока. Искомые величины выразить через время T и параметр $\varepsilon \equiv (k_2 - k_1) / k_1$.

3. Вычислить завихренность Ω движения жидкости под трохоидальными волнами Гёрстнера.

4. Доказать дифференциальный закон сохранения массы:

$$h_t + q_x + r_y = 0,$$

где

$$h(t, x, y) \equiv d(t, x, y) - b(t, x, y)$$

есть глубина жидкости (разность между уровнем поверхности $z = d$ и уровнем дна $z = b$), $q(t, x, y)$ и $r(t, x, y)$ - компоненты вектора расхода через поперечные (вертикальные) сечения жидкой области:

$$q \equiv \int_b^d \Phi_x dz, \quad r \equiv \int_b^d \Phi_y dz,$$

$\Phi(t, x, y)$ - потенциал скорости.

5. Систему уравнений Су-Гарднера

$$h_t + (hu)_x = 0, \quad u_t + \left(gh + \frac{1}{2}u^2\right)_x = \frac{1}{3h}(h^3 \varepsilon)_x;$$

$$(\varepsilon(t, x) \equiv u_{xx} + uu_{xx} - (u_x)^2)$$

привести к дивергентному виду.

6. Для уединённой волны Буссинеска вычислить массу M и потенциальную энергию P . Выполняется ли для такой волны соотношение Старра? Выполняется ли соотношение Старра для уединённой волны КдВ?

7. В рамках потенциальной модели уединённая волна не может иметь амплитуду, превышающую некоторое предельное значение α . Найти это значение, учитывая, что уединённая волна предельной амплитуды имеет заострённую вершину и движется со скоростью 1.29c. (найдено численно). Какие амплитуды α_B и α_K имеют уединённые волны Буссинеска и КдВ, бегущие с такой же скоростью?

8. С какой скоростью движется волна Стокса (для уравнения Буссинеска, в приближении четвёртого порядка), если её длина и амплитуда равны $2\pi H$ и $(2/3)H$ соответственно.

9. Для плоской линии, заданной уравнениями

$$x = x(l), \quad z = z(l),$$

с длиной l своей дуги в качестве параметра, кривизна находится по формуле:

$$\gamma(l) = \sqrt{(x_{ll})^2 + (z_{ll})^2}.$$

Вывести формулу для вычисления кривизны плоской линии в случае её произвольной параметризации:

$$x = x(\lambda), \quad z = z(\lambda).$$

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИТОГОВОЙ ОЦЕНКИ

Итоговая оценка формируется на основе 3-ех документов:

1. Правила проведения аттестации (Постановление № 53 от 29.05.2012 г.).
2. Положение о рейтинговой системе БГУ (ред. 2015 г.).
3. Критерии оценки студентов (10 баллов).

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

[illegible]

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

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры теоретической и прикладной механики (протокол № ____ от _____ 201_ г.)

Заведующий кафедрой
д. физ.-мат. наук, профессор

М.А. Журавков

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
канд. физ.-мат. наук, доцент

Д.Г. Медведев