

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

Кафедра **E5 «Экология и производственная безопасность»**  
(наименование)



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по НР и ИР  
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова  
С.А. Матвеев  
«31» 20 22 г.

**КАНДИДАТСКИЙ ЭКЗАМЕН ПО ДИСЦИПЛИНЕ**  
**Акустика**

Специальность: 1.3.7 Акустика

Санкт-Петербург  
2022 г.

## **Введение**

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: гидродинамика и теория упругости, теория колебаний и волн, физическая акустика, техническая акустика. Программа разработана экспертным советом по физике Высшей аттестационной комиссии при участии Акустического института им. акад. Н.Н.Андреева и МГУ им. М.В.Ломоносова.

### **I. Гидродинамика и теория упругости**

1. Уравнения гидродинамики идеальной и вязкой теплопроводящей жидкости. Пределы применимости приближения сплошной среды, связь с кинетическим описанием.
2. Акустическая, температурная и вихревая моды теплопроводящей среды. Адиабатическая и изотермическая скорости звука. Коэффициент затухания звука в среде с малыми вязкостью и теплопроводностью.
3. Сжимаемая и несжимаемая жидкость. Потенциальные и вихревые течения идеальной жидкости. Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа. Теорема Томпсона о циркуляции скорости жидкости.
4. Гравитационно-капиллярные волны на поверхности жидкости. Внутренние гравитационные волны в стратифицированной жидкости; частота Брента-Вайсяля.
5. Течения вязкой жидкости (Пуазейля, Куэтта). Затопленная струя. Пограничный слой, уравнения Прандтля.
6. Ударные волны. Изменение параметров среды при переходе через разрыв. Ширина ударного фронта. Скорость распространения ударных волн по невозмущенной среде.
7. Гидродинамические неустойчивости. Число Рейнольдса. Переход к турбулентности. Развитая турбулентность. Фракталы, число Фейгенбаума.
8. Гидродинамика сверхтекучей жидкости. Второй звук.
9. Подходы Эйлера и Лагранжа к описанию сплошной среды, основания для использования различных подходов в гидродинамике и теории упругости.
10. Уравнения теории упругости. Закон Гука для изотропных и анизотропных тел. Линеаризация уравнений для малых возмущений. Продольные и сдвиговые волны в изотропном теле.
11. Волны в твердых средах в присутствии границ (Релея, Лэмба, Лява, клиновые волны).
12. Упругие волны в кристаллах. Волны в пьезо- и сегнетоэлектриках, магнетиках.

### **II. Теория колебаний и волн**

1. Линейные и нелинейные колебательные системы с одной степенью свободы. Явление резонанса. Импульсная переходная и частотная передаточная характеристики линейной системы. Резонатор Гельмгольца. Сферически-симметричные колебания газового пузырька в жидкости, уравнение Релея.
2. Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания, теорема взаимности.
3. Колебания периодических цепочек (точечные массы с упругим взаимодействием ближайших соседей). Акустическая и оптическая моды.



4. Собственные и вынужденные колебания распределенных систем конечных размеров. Разложение вынужденных колебаний по собственным функциям системы (модам).

5. Колебания недеформируемых тел, погруженных в жидкость. Сила сопротивления колебаниям сферы в идеальной и вязкой среде.

6. Волновое уравнение (вывод из уравнений гидродинамики и теории упругости). Плоские однородные и неоднородные волны. Плотность и поток энергии.

7. Сферические и цилиндрические волны. Пространственно-временной спектр Фурье волнового поля; его представление в виде суммы гармонических плоских волн.

8. Отражение и преломление акустических волн на плоской границе раздела двух сред. Закон Снеллиуса. Формулы Френеля. Поле в среде при падении под углом, большим критического. Плотность и поток энергии. Акустический импеданс. Отражение от импедансной границы.

9. Распространение волнового пакета в диспергирующей среде. Фазовая и групповая скорости. Теория дисперсии Мандельштама-Леонтовича. Физические причины появления зависимости скорости звука от частоты.

10. Принцип Гюйгенса-Френеля. Формулы Грина и Кирхгофа. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Дифракция на круглом и прямоугольном отверстии (экране), принцип Бабинне.

11. Излучение звука пульсирующей сферой и колеблющейся сферой. Монопольное и дипольное излучение, сопротивление излучению и присоединенная масса. Поршневой излучатель в плоском экране. Ближнее и дальнее поле. Характеристика направленности.

12. Волны в средах с крупномасштабными неоднородностями. Приближение геометрической акустики. Уравнения эйконала, переноса, дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах. Ход лучей в подводном звуковом канале.

### III. Физическая акустика

1. Скорость распространения и механизмы затухания акустических волн в газах, жидкостях, твердых телах, полимерах и биотканях.

2. Способы возбуждения и приема акустических волн в различных средах и частотных диапазонах. Электроакустические преобразователи: электродинамические, пьезоэлектрические, магнитострикционные. Электромеханические аналогии.

3. Методы измерения характеристик акустических полей: колебательной скорости, акустического давления, скорости распространения, поглощения, интенсивности.

4. Волны в узких трубах переменного сечения, уравнение Вебстера. Акустические волноводы (плоский слой, волноводы с прямоугольным и круглым сечением). Нормальные волны.

5. Дифракция звука на телах канонической формы (сфера, цилиндр). Дифракция света на ультразвуке.

6. Рассеяние звука на малых препятствиях, пузырьках газа в жидкостях и неровностях границ.

7. Распространение звука в движущейся среде. Движущиеся источники. Эффект Доплера. Излучение при сверхзвуковом движении, переходное излучение.

8. Флуктуации амплитуды, фазы и угла прихода луча при распространении звука в случайно-неоднородной среде.

9. Аэродинамическая генерация звука. Уравнение Лайтхилла.

10. Радиационное давление и акустические течения.

11. Римановы (простые) волны. Акустическое число Маха. Искажение профилей бегущих волн, генерация гармоник. Взаимодействие плоских волн и пучков.

12. Пилообразные волны. Нелинейное затухание и эффект насыщения.

Учет вязкости. Уравнение Бюргерса. Акустическое число Рейнольдса.

#### **IV. Техническая акустика**

1. Излучающие и приемные электроакустические преобразователи. Метод электромеханических аналогий. Активные материалы для пьезоэлектрических и магнитострикционных преобразователей. Коэффициент электромеханической связи. Частотные характеристики, коэффициент нелинейных искажений. Коэффициент полезного действия излучателей и помехоустойчивость приемников.

2. Преобразователи для воздушной среды. Диффузорные и рупорные громкоговорители. Микрофоны – приемники звукового давления и градиента давления. Газодинамические источники звука, свистки, сирены.

3. Гидродинамические излучатели и гидрофоны (приемники акустического давления и градиента давления). Гидроакустические антенны. Характеристики направленности. Методы электронного формирования характеристик направленности антенных решеток и управления ими.

4. Профиль скорости звука и структура звукового поля в океане. Подводный звуковой канал. Приповерхностный канал. Звук в мелком море.

5. Пассивная гидролокация. Шумы океана и корабля. Выделение сигнала из помех. Оптимальная фильтрация. Уравнение дальности, методы и точность пеленгования.

6. Активная гидролокация. Отражение звука корпусом и кильватерным следом корабля. Виды зондирующих сигналов, их оптимальная обработка в присутствии шумовой и реверберационной помех.

7. Параметрические излучающие и приемные антенны. Характеристики направленности.

8. Методы гидроакустической связи, навигации, рыболокации, съемки рельефа дна, определения глубины места и абсолютной скорости движения.

9. Механические, аэродинамические и гидродинамические источники шумов. Транспортные шумы.

10. Звукопоглощение и звукоизоляция. Звукопоглощающие материалы и конструкции для воздушной среды. Пористые материалы, резонансные поглотители. Активные методы подавления шума.

11. Статистическая и волновая теория акустики помещений. Оптимальное время реверберации. Акустика больших помещений (неравномерность поля, искажения нестационарных сигналов, явление эхо) и методы ее улучшения.

12. Методы акустических измерений и калибровки преобразователей. Специальные помещения и установки для измерений в воздухе и в воде. Заглушенная камера, заглушенный гидробассейн.



13. Ультразвуковые технологии (осаждение аэрозолей, очистка поверхностей, дегазация жидкостей, эмульгирование, обработка материалов, сварка).

14. Ультразвуковая медицинская диагностика. Интенсивный ультразвук в терапии и хирургии.

15. Ультразвуковые методы измерений и неразрушающего контроля. Дефектоскопия промышленных изделий, строительных материалов и конструкций.

16. Взаимодействие волн пространственного заряда с акустическим полем, акустоэлектрический эффект. Принципы работы акустоэлектронных устройств (усилители ультразвука, линии задержки, фильтры, конвольверы, запоминающие устройства). Возбуждение и прием поверхностных акустических волн (ПАВ), устройства обработки сигналов на ПАВ.

17. Взаимодействия света со звуком. Дифракция Брэгга и Рамана-Ната. Принципы работы устройств акустооптики (модуляторы и дефлекторы света, преобразователи свет-сигнал, акустооптические фильтры), анализаторы спектра и корреляторы.

### **Рекомендуемая основная литература**

1. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Электронный ресурс] : учебное пособие : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - Электрон. текстовые дан. - М. : Наука. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации [\\lib\\_server\elres\elr00022.pdf](http://lib_server/elres/elr00022.pdf). Т. 6 : Гидродинамика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - 3-е изд., перераб. - М., 1986. - 1 эл. жестк. диск. - (ЭБС ВОЕНМЕХ). - Предметный указ.: с. 731 - 733. - Б. ц.

2. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Текст] : учебное пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - Изд. 4-е, стер. - 1962 - 2001. Т. VI : Гидродинамика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 736 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр. в подстроч. прим. - Обознач.: с. 8. - Предметный указ.: с. 731-736. - Задачи в конце парагр. - ISBN 5-02-013850-9

3. Филатов, Юрий Евгеньевич. Введение в механику материалов и конструкций [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю. Е. Филатов. - 2-е изд. - Электрон. текстовые дан. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 320 с. - (ЭБС Лань). - Загл. с титул. экрана. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/175510> (дата обращения: 27.10.2021). - Б. ц.

4. Филатов, Юрий Евгеньевич. Введение в механику материалов и конструкций [Текст] : учебное пособие [для вузов] / Ю. Е. Филатов. - Изд. 2-е, стер. - СПб. : Лань, 2021. - 318 с. : граф., схемы. - Вопросы для самопроверки: в конце глав. - Прил.: с. 256-316. - ISBN 978-5-8114-8374-7.

5. Бородина, Евгения Григорьевна. Колебания и волны [Электронный ресурс] : учебное пособие [для вузов] / Е. Г. Бородина, А. Н. Старухин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2011. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - (ЭБС ВОЕНМЕХ). - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации [\\lib\\_server\elres\elr01700.pdf](http://lib_server/elres/elr01700.pdf). - Библиогр.: с. 105.

6. Бородина, Евгения Григорьевна. Колебания и волны [Текст] : учебное пособие [для вузов] / Е. Г. Бородина, А. Н. Старухин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2011. - 107 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 105. - Б. ц.

7. Савельев, Игорь Владимирович. Курс физики [Текст] : учебное пособие для вузов : в 3 т. / И. В. Савельев. - СПб. : Лань, 2008. - (Классическая учебная литература по



физике) (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-0684-5. Т. 2 : Электричество, Колебания и волны ; Волновая оптика. - Изд. 4-е, стер. - 2008. - 467 с. : граф., схемы, табл. - Об авторе: послед. с. облож. - КОПИРОВАНИЕ ЗАПРЕЩЕНО. - Библиогр. в подстроч. прим. - Примеры решения задач: в конце глав. - Контр. вопросы: в конце глав. - Приложения: с. 449-457. - Именной указ.: с. 458-459. - Предмет. указ.: с. 460-462. - Комментарии: с. 463. - ISBN 978-5-8114-0686-9.

8. Скучик, Е. Основы акустики [Текст] : пер. с англ. : [в 2 т.]. Т. 1 / Е. Скучик. - М. : Мир, 1976. - 520 с. : граф., рис., табл. - Библиогр. в конце глав. - Библиогр.: с. 487-512. - Дополнит. титульн. лист на англ. яз. - Обознач.: с. 17-21. - Список обознач.: с. 22-38.

9. Скучик, Е. Основы акустики [Текст] : пер. с англ. : [в 2 т.]. Т. 2 / Е. Скучик. - М. : Мир, 1976. - 542 с. : граф., рис. - Библиогр. в конце глав. - Библиогр.: с. 494-527. - Дополнит. титульн. лист на англ. яз. - Прил.: с. 447-493. - Предмет. указ.: с. 528-534.

10. Скучик, Е. Простые и сложные колебательные системы [Текст] : пер. с англ. / Е. Скучик. - М. : Мир, 1971. - 557 с. : граф., схемы, фото. - Библиогр. в конце глав. - Дополнит. титульн. лист на англ. яз. - Обозначения: с. 13-24.

8. Борьба с шумом на производстве : справочник / Е. Я. Юдин [и др.] ; ред.: М. И. Могилевский, Е. Я. Юдин. - М. : Машиностроение, 1985. - 399 с. : граф., фото, рис., табл. - Библиогр.: с. 376-393. - Предметный указ.: с. 393-399.

9. Иванов, Николай Игоревич. Защита от шума и вибрации [Текст] / Н. И. Иванов. - СПб. : НИЦ АРТ, 2017. - 267 с. : граф., схемы, табл. - Об авторе: с. 267. - Библиогр.: с. 266. - ISBN 978-5-9909804-9-5

10. Иванов, Николай Игоревич. Защита от шума и вибрации [Текст] : учебное пособие [для вузов] / Н. И. Иванов, А. Е. Шашурин. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб. : Печатный Цех, 2019. - 282 с. : граф., схемы, табл. - Об авт.: с. 281-282. - Библиогр.: с. 279. - Список принят. сокращ.: с. 7. - Контр. вопросы: в конце глав. - ISBN 978-5-6042448-3-8

### Дополнительная литература

1. Дубнищев, Юрий Николаевич. Колебания и волны [Текст] : учебное пособие для вузов / Ю. Н. Дубнищев. - Изд. 2-е, перераб. - СПб. : Лань, 2011. - 383 с. : граф., схемы. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 380. - Вопросы: в конце глав. - Задачи: в конце глав. - Приложение: с. 373-376. - Предмет. указ.: с. 377-379. - ISBN 978-5-8114-1183-2.

2. Скучик, Е. Основы акустики [Текст] . Т. 2 / Е. Скучик. - М. : Мир, 1959. - 565 с.

3. Иванов, Николай Игоревич. Основы виброакустики [Электронный ресурс] : учебник для вузов / Н. И. Иванов, А. С. Никифоров. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Политехника, 2000. - 1 эл. жестк. диск : цв. : схемы, граф., табл. - (ЭБС ВОЕНМЕХ). - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации \\lib\_server\elres\elr01554.djvu. - Библиогр.: с. 482. - Осн. понятия и термины : с. 21-22. - Указатель обознач. : с. 23-24. - ISBN 5-7325-0599-7 : Б. ц.

4. Иванов, Николай Игоревич. Основы виброакустики [Электронный ресурс] : конспект лекций [для вузов] / Н. И. Иванов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2021. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - (ЭБС ВОЕНМЕХ). - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации \\lib\_server\elres\elr03308.pdf. - Библиогр.: с. 129. - Контр. вопросы: в конце лекций. - ISBN 978-5-907324-27-5 : Б. ц.



5. Иванов, Николай Игоревич. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом [Текст] : учебник для вузов / Н. И. Иванов. - М. : Логос, 2008. - 423 с. : граф., схемы, табл. - (Новая университетская библиотека). - Об авторе: с. 423. - Библиогр.: с. 421-422. - Термины, определения, обознач.: с. 7-10. - ISBN 978-598704-286-0 : Б. ц.
6. Иванов, Николай Игоревич. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом [Текст] : учебник для вузов / Н. И. Иванов. - Изд. 3-е, перераб. и доп. - М. : Логос, 2013. - 431 с. : граф., схемы, табл. - (Новая университетская библиотека). - Об авторе: с. 431. - Библиогр.: с. 429-430. - Термины, определения, обознач.: с. 9-12. - ISBN 978-5-98704-659-3 : Б. ц.
7. Техническая акустика транспортных машин [Текст] : справочник / Л. Г. Балишанская [и др.] ; ред. Н. И. Иванов. - СПб. : Политехника, 1992. - 365 с. : граф., рис., табл. - Авторы указ. на обороте тит. листа. - Библиогр. в конце глав. - Принятые сокр.: с. 4. - ISBN 5-7325-0090-1.
8. Майер, Валерий Вильгельмович. Звук и ультразвук в учебных исследованиях [Текст] : учебное пособие / В. В. Майер, Е. И. Вараксина. - 2-е изд. - Долгопрудный : Интеллект, 2012. - 335 с. : схемы, фото, граф. - Об авторах: послед. с. облож. - Библиогр.: с. 333-335. - Прил.: с. 327-333. - ISBN 978-5-91559-128-7
9. Акустические взаимодействия в газовых потоках [Текст] / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, А. И. Цветков [и др.] ; ред.: В. Н. Емельянов, К. Н. Волков. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2021. - 590 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 553-588. - Термины и опред.: с. 13-19. - ISBN 978-5-9221-1890-3.
10. Прикладная акустика [Текст] : межвузовский тематический научный сборник. Вып. VII / Таганрог. радиотехн. ин-т ; ред. кол. В. И. Тимошенко [и др.]. - Таганрог : [б. и.], 1979. - 164 с. : ил., граф., табл. - Авторы указ. в оглавлении. - Библиогр. в конце ст. - Реф.: с. 157-164.
11. Акустика [Текст] : справочник / А. П. Ефимов [и др.] ; ред. М. А. Сапожников. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1989. - 336 с. : граф., рис., табл. - Авторы указ. на обороте тит. листа. - Библиогр.: с. 333 - 335. - Список обознач. : с. 4. - ISBN 5-256-00187-6
12. Акустика [Электронный ресурс] : 14 книг в формате djvu. - Электрон. текстовые дан. - [Б. м. : б. и.], 2008. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM). - (Электронная библиотека). - Б. ц.
13. Блохинцев, Дмитрий Иванович. Акустика неоднородной движущейся среды [Текст] / Д. И. Блохинцев. - Изд. 2-е. - М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. - 206 с. : граф., табл. - Библиогр.: с. 202-203. - Предметный указ.: с. 204-206.
14. Акустика в океане [Текст] : [сборник статей] / Р. В. Озмидов [и др.] ; отв. ред. Л. М. Бреховских, И. Б. Андреева ; Российск. акад. наук, Комиссия по пробл. мирового океана. - М. : Наука, 1992. - 229 с. : граф., рис., табл. - Авторы указ. в оглавлении. - Библиогр. в конце ст. - Аннотация на англ. языке. - Оглавление на англ. языке. - ISBN 5-02-000210-0
15. Акустика турбулентных потоков [Текст] : [сборник статей] / Акад. наук СССР, Акуст. ин-т им. Н. Н. Андреева ; отв. ред. А. В. Римский-Корсаков. - М. : Наука, 1983. - 157 с. : граф. - Авторы указ. в оглавлении. - Библиогр. в конце ст. - Рефераты: с. 152-157.
16. Хорбенко, Иван Григорьевич. Звук, ультразвук, инфразвук [Текст] / И. Г. Хорбенко. - М. : Знание, 1986. - 192 с. : ил. - (Наука и прогресс). - Библиогр.: с. 190-191.
17. Викторов, Игорь Александрович. Звуковые поверхностные волны в твёрдых телах [Текст] / И. А. Викторов ; отв. ред. В. А. Красильников ; Акад. наук СССР, Акуст. ин-т им. Н. Н. Андреева. - М. : Наука, 1981. - 287 с. : граф., табл. - Библиогр.: с. 273-284.

18. Борисов, Лев Петрович. Звукоизоляция в машиностроении [Текст] : монография / Л. П. Борисов, Д. Р. Гужас. - М. : Машиностроение, 1990. - 255 с. : ил, граф. - Библиогр.: с. 248 - 251. - Приложение : с. 243 - 247. - ISBN 5-217-00885-7
19. Клюкин, Игорь Иванович. Звук и море [Текст] / И. И. Клюкин. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Л. : Судостроение, 1984. - 145 с. : ил. - Библиогр.: с. 142-144.
20. Чедд, Грэхэм. Звук [Текст] : пер. с англ. / Г. Чедд. - М. : Мир, 1975. - 205 с. : граф., ил., схемы, табл. - (В мире науки и техники). - Дополнит. титульн. лист на англ. яз.
21. Дрейзен, Иосиф Григорьевич. Курс электроакустики [Текст] / И. Г. Дрейзен. - М. : Связьиздат. Ч. II : Звукофикация : учебник для вузов. - 1940. - 291 с. : граф., рис., табл. - Библиогр.: с. 286-289. - Приложение: с. 284-285.
22. Павловский, Б. В. Звукоизоляция самолётов [Текст] / Б. В. Павловский, Н. М. Либерхейн ; ред. М. С. Анцыферов. - М. : Оборонгиз, 1950. - 108 с. : ил., граф., табл., 1 вкл. л. - Библиогр.: с. 106.
23. Цвиккер, К. Звукопоглощающие материалы [Текст] : пер. с англ. / К. Цвиккер, К. Костен ; пер. И. Д. Иванов, ред. пер., авт. предисл. Л. М. Бреховских. - М. : Иностран. лит., 1952. - 160 с. : граф., ил., схемы, табл. - Библиогр.: с. 157-158.

#### ПРИМЕЧАНИЕ

При подготовке к кандидатскому экзамену по отрасли технических наук внимание соискателей акцентируется на разделе IV данной программы