

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Кафедра «Наземные транспортно-технологические комплексы»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

*дисциплины*

**Б1.О.19 «ВОЛНЫ В УПРУГИХ СРЕДАХ»**

для направления подготовки

**12.03.01 «Приборостроение»**

по профилю

**«Приборы и методы контроля качества и диагностики»**

Форма обучения – очная

Санкт-Петербург  
2026

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа рассмотрена, обсуждена на заседании кафедры  
«Наземные транспортно-технологические комплексы»  
Протокол № 5 от «29» января 2026 г.

Заведующий кафедрой  
«Наземные транспортно-  
технологические комплексы»  
«29» января 2026 г.

\_\_\_\_\_ А.А. Воробьев

СОГЛАСОВАНО

Руководитель ОПОП  
«29» января 2026 г.

В.Н. Коншина

## **1 Цели и задачи дисциплины**

Рабочая программа дисциплины «Волны в упругих средах» (Б1.О.19) составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 12.03.01 «Приборостроение», утвержденного «17» сентября 2017 г. приказ Минобрнауки России №945 с учетом профессионального стандарта 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции, утвержденным приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.07.2021 № 480н.

Целью изучения дисциплины «Волны в упругих средах» является ознакомление студентов с физическими явлениями, лежащими в основе ультразвуковой дефектоскопии и методических приемов контроля, реализуемых в современной дефектоскопической аппаратуре.

Для достижения цели дисциплины решаются следующие задачи:

- изучение основных уравнений и закономерностей распространения упругих волн в различных средах;
- изучение явлений отражения, преломления и распространения волн на границах раздела сред;
- изучение закономерностей распространения волн в неоднородных и ограниченных средах;
- знакомство с излучением и приемом акустических волн;
- изучение основных закономерностей рассеяния и дифракции упругих волн на неоднородностях среды.

## **2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в программе индикаторами достижения компетенций**

Планируемыми результатами обучения по дисциплине является формирование у обучающихся компетенций (части компетенций). Сформированность компетенций (части компетенции) оценивается с помощью индикаторов достижения компетенций.

| Индикаторы достижения компетенций                                                                                                                                                                                                                                     | Результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства приборов и комплексов широкого назначения  |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| ОПК-1.1.1 Знает естественнонаучные и общетехнические законы, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства приборов и комплексов широкого назначения            | Обучающийся <i>знает</i> : естественнонаучные и общетехнические законы, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства приборов и комплексов широкого назначения            |
| ОПК-1.2.1 Умеет применять в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства приборов и комплексов широкого назначения, естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования | Обучающийся <i>умеет</i> : применять в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства приборов и комплексов широкого назначения, естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования |
| ОПК-1.3.1 Имеет навыки по применению естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования в инженерной деятельности                                                                                                           | Обучающийся <i>имеет навыки</i> по применению естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования в инженерной деятельности                                                                                                             |

### 3. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)».

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

| Вид учебной работы                           | Всего часов | Семестр |    |
|----------------------------------------------|-------------|---------|----|
|                                              |             | 3       | 4  |
| Контактная работа (по видам учебных занятий) | 128         | 64      | 64 |
| В том числе:                                 |             |         |    |
| – лекции (Л)                                 | 64          | 32      | 32 |
| – практические занятия (ПЗ)                  | 48          | 32      | 16 |
| – лабораторные работы (ЛР)                   | 16          |         | 16 |

| Вид учебной работы                   | Всего часов | Семестр |       |
|--------------------------------------|-------------|---------|-------|
|                                      |             | 3       | 4     |
| Самостоятельная работа (СРС) (всего) | 160         | 80      | 80    |
| Контроль                             | 72          | 36      | 36    |
| Форма контроля знаний                |             | Э       | Э КП  |
| Общая трудоемкость: час / з.е.       | 360/10      | 180/5   | 180/5 |

## 5. Содержание и структура дисциплины

### 5.1 Содержание дисциплины

| № п/п    | Наименование раздела дисциплины                                       | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Индикаторы достижения компетенций            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Модуль 1 |                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                              |
| 1        | Основные уравнения и закономерности распространения акустических волн | <p>Лекция 1-7. Деформации и напряжения в твердых средах. Уравнения механики сплошных сред. Волновое уравнение. Акустическое поле. Простейшие типы волн. Скорость распространения и поляризация. Волновой фронт, волновой вектор. Плоские, цилиндрические и сферические волны; изменение амплитудных и энергетических характеристик с расстоянием. Суперпозиция волн. Спектральное представление во временной и пространственной областях; ряд и интеграл Фурье. Распространение акустического импульса. Групповая скорость, ее физический смысл.</p> <p>Практическое занятие. Длина волны. Связь скорости распространения волны с упругими постоянными. Зависимость коэффициента затухания от частоты и величины зерна. Способы измерения коэффициента затухания.</p> <p>Самостоятельная работа. Дефор-</p> | <p>ОПК-1.1.1<br/>ОПК-1.2.1<br/>ОПК-1.3.1</p> |

| №<br>п/п | Наименование раздела дисциплины                                                | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Индикаторы достижения компетенций   |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|          |                                                                                | <p>мации и напряжения в твердых средах. Уравнения механики сплошных сред. Волновое уравнение. Акустическое поле. Простейшие типы волн. Скорость распространения и поляризация. Волновой фронт, волновой вектор. Плоские, цилиндрические и сферические волны; изменение амплитудных и энергетических характеристик с расстоянием. Суперпозиция волн. Спектральное представление во временной и пространственной областях; ряд и интеграл Фурье. Распространение акустического импульса. Групповая скорость, ее физический смысл.</p>                                                                                                                                                                 |                                     |
| 2        | Отражение, преломление и распространение упругих волн на границах раздела сред | <p>Лекция 7-13. Граничные условия. Методы решения граничных задач. Трансформация волн. Закон Снеллиуса. Отражение поперечных и продольных волн от свободной границы твердой среды. Явление незеркального отражения. Углы обмена, поляризация. Отражение и прохождение волн через границу раздела твердых сред при наличии жидкостной прослойки. Критические углы. Неоднородные волны. Зеркальное и диффузное отражение. Поверхностные волны Рэлея; скорость распространения и кинематика движений. Волны на криволинейных поверхностях.</p> <p>Практическое занятие. Закон Снеллиуса. Критические углы. Влияние жидкостной прослойки. Акустическое сопротивление. Коэффициенты отражения и про-</p> | ОПК-1.1.1<br>ОПК-1.2.1<br>ОПК-1.3.1 |

| №<br>п/п        | Наименование раздела дисциплины                                                | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Индикаторы<br>достижения<br>компетенций |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                 |                                                                                | зрачности при нормальном и наклонном падении волны. Самостоятельная работа. Граничные условия. Методы решения граничных задач. Трансформация волн. Закон Снеллиуса. Отражение поперечных и продольных волн от свободной границы твердой среды. Явление незеркального отражения. Углы обмена, поляризация. Отражение и прохождение волн через границу раздела твердых сред при наличии жидкостной прослойки. Критические углы. Неоднородные волны. Зеркальное и диффузное отражение. Поверхностные волны Рэлея; скорость распространения и кинематика движений. Волны на криволинейных поверхностях. |                                         |
| 3               | Волны в неоднородных и ограниченных средах                                     | Лекция 13-16. Затухание упругих волн. Физические механизмы и основные закономерности. Рефракция волн. Интерференционные процессы в ограниченных средах.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ОПК-1.1.1<br>ОПК-1.2.1<br>ОПК-1.3.1     |
| <b>Модуль 2</b> |                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                         |
| 1               | Основные уравнения и закономерности распространения акустических волн          | Лабораторная работа. Измерение амплитуды, скорости и коэффициента затухания ультразвуковых волн.<br>Самостоятельная работа. Основные характеристики упругих волн.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ОПК-1.1.1<br>ОПК-1.2.1<br>ОПК-1.3.1     |
| 2               | Отражение, преломление и распространение упругих волн на границах раздела сред | Лабораторная работа. Трансформация упругих волн при падении на границу раздела<br>Самостоятельная работа. Закон Снеллиуса. Отражение и прохождение волн через границу раздела сред. Критические углы. Расчет коэффициента прозрачности.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ОПК-1.1.1<br>ОПК-1.2.1<br>ОПК-1.3.1     |

| №<br>п/п | Наименование раздела дисциплины            | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Индикаторы<br>достижения<br>компетенций |
|----------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 3        | Волны в неоднородных и ограниченных средах | <p>Лекция 1-4 Рефракция волн. Интерференционные процессы в ограниченных средах. Нормальные волны в жидком слое; дисперсионное уравнение. Волноводное распространение в пластинах и стержнях; симметричные и антисимметричные моды колебаний. Практическое занятие. Волноводное распространение в пластинах и стержнях; симметричные и антисимметричные моды колебаний. Выбор преобразователей для возбуждения волн Лэмба в пластинах.</p> <p>Самостоятельная работа. Рефракция волн. Интерференционные процессы в ограниченных средах. Нормальные волны в жидком слое; дисперсионное уравнение. Волноводное распространение в пластинах и стержнях; симметричные и антисимметричные моды колебаний.</p> | ОПК-1.1.1<br>ОПК-1.2.1<br>ОПК-1.3.1     |
| 4        | Излучение и прием акустических волн        | <p>Лекция 4-10. Поле точечного источника. Излучение упругих волн поверхностными силами. Методы возбуждения различных типов волн. Поле поршневого излучателя. Ближняя зона. Дальняя зона. Диаграмма направленности. Поле наклонных преобразователей. Понятие о мнимом излучателе. Диаграммы направленности объемных и поверхностных волн. Приближенный расчет и аппроксимация диаграмм направленности.</p> <p>Практическое занятие. Ближняя зона. Дальняя зона. Диаграмма направленности. Поле наклонных преобразователей. Понятие о</p>                                                                                                                                                                 | ОПК-1.1.1<br>ОПК-1.2.1<br>ОПК-1.3.1     |

| №<br>п/п | Наименование раздела дисциплины                                                     | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Индикаторы достижения компетенций   |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|          |                                                                                     | <p>мнимом излучателе. Диаграммы направленности объемных и поверхностных волн. Приближенный расчет и аппроксимация диаграмм направленности</p> <p>Лабораторная работа. Измерение диаграмм направленности поверхностных волн Рэлея.</p> <p>Самостоятельная работа. Расчет и аппроксимация диаграмм направленности</p>                                                                                                                           |                                     |
| 5        | Основные закономерности рассеяния и дифракции упругих волн на неоднородностях среды | <p>Лекция 11-16. Рассеяние ультразвука малым плоским дефектом. Расчет в лучевом и энергетическом приближении. Механизмы дифракции на округлых и плоскостных дефектах.</p> <p>Практическое занятие. Рассеяние ультразвука малым плоским дефектом. Расчет в лучевом и энергетическом приближении.</p> <p>Самостоятельная работа. Дифракция на острых кромках, округлых поверхностях. Дифракция на реальных дефектах. Коэффициент дифракции.</p> | ОПК-1.1.1<br>ОПК-1.2.1<br>ОПК-1.3.1 |

## 5.2 Разделы дисциплины и виды занятий

| №<br>п/п | Наименование разделов<br>дисциплины                                                 | Л  | ПЗ | ЛР | СРС | Всего |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|-----|-------|
| 1        | Основные уравнения и закономерности распространения акустических волн               | 13 | 16 | 4  | 25  | 58    |
| 2        | Отражение, преломление и распространение упругих волн на границах раздела сред      | 13 | 16 | 8  | 25  | 62    |
| 3        | Волны в неоднородных и ограниченных средах                                          | 13 | 4  | 0  | 25  | 42    |
| 4        | Излучение и прием акустических волн                                                 | 13 | 8  | 4  | 25  | 50    |
| 5        | Основные закономерности рассеяния и дифракции упругих волн на неоднородностях среды | 12 | 4  | 0  | 60  | 76    |
|          | Итого                                                                               | 64 | 48 | 16 | 160 | 288   |
| Контроль |                                                                                     |    |    |    |     | 72    |
| Всего    |                                                                                     |    |    |    |     | 360   |

### **6 Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Оценочные материалы по дисциплине являются неотъемлемой частью рабочей программы и представлены отдельным документом, рассмотренным на заседании кафедры и утвержденным заведующим кафедрой.

### **7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Порядок изучения дисциплины следующий:

1. Освоение разделов дисциплины производится в порядке, приведенном в разделе 5 «Содержание и структура дисциплины». Обучающийся должен освоить все разделы дисциплины, используя методические материалы дисциплины, а также учебно-методическое обеспечение, приведенное в разделе 8 рабочей программы.

2. Для формирования компетенций обучающийся должен представить выполненные задания, необходимые для оценки знаний, умений, навыков, предусмотренные текущим контролем успеваемости (см. оценочные материалы по дисциплине).

3. По итогам текущего контроля успеваемости по дисциплине, обучающийся должен пройти промежуточную аттестацию (см. оценочные материалы по дисциплине).

## **8. Описание материально-технического и учебно-методического обеспечения, необходимого для реализации программы бакалавриата по дисциплине**

8.1. Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой бакалавриата, укомплектованные специализированной учебной мебелью и оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: настенным экраном (стационарным или переносным), маркерной доской и (или) меловой доской, мультимедийным проектором (стационарным или переносным).

Все помещения, используемые для проведения учебных занятий и самостоятельной работы, соответствуют действующим санитарным и противопожарным нормам и правилам.

Для проведения лабораторных работ используются лаборатории кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы», укомплектованные следующим оборудованием:

- ультразвуковой дефектоскоп УД2-12 – 7 шт.
- ультразвуковой дефектоскоп РДМ-3 – 2 шт.
- стандартные образцы СО-2 – 7 шт.
- стандартные образцы СО-3 – 7 шт.
- дефектоскоп акустический АД-50У – 1 шт.
- дефектоскоп ультразвуковой УД2-70 – 5 шт.
- 32 канальная ультразвуковая установка на основе фазированных решеток Harfang – 1 шт.

8.2. Университет обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства:

Перечень лицензионных программ представлен на внутреннем портале ФГБОУ ВО ПГУПС по адресу <http://eaisu.pgups.edu.mps/info/prog/>

8.3. Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к современ-

ным профессиональным базам данных:

- Электронно-библиотечная система издательства «Лань». [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/> — Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Электронно-библиотечная система ibooks.ru («Айбукс»). – URL: [https:// ibooks.ru /](https://ibooks.ru/) — Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Электронная библиотека ЮРАЙТ. – URL: <https://urait.ru/>— Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Единое окно доступа к образовательным ресурсам - каталог образовательных интернет-ресурсов и полнотекстовой электронной учебно-методической библиотеке для общего и профессионального образования». – URL: <http://window.edu.ru/> — Режим доступа: свободный.
- Словари и энциклопедии. – URL: <http://academic.ru/> — Режим доступа: свободный.
- Научная электронная библиотека "КиберЛенинка" - это научная электронная библиотека, построенная на парадигме открытой науки (Open Science), основными задачами которой является популяризация науки и научной деятельности, общественный контроль качества научных публикаций, развитие междисциплинарных исследований, современного института научной рецензии и повышение цитируемости российской науки. – URL: <http://cyberleninka.ru/> — Режим доступа: свободный.

8.4. Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к информационным справочным системам:

- Национальный Открытый Университет "ИНТУИТ". Бесплатное образование. [Электронный ресурс]. – URL: <https://intuit.ru/> — Режим доступа: свободный.
- Сервер «Неразрушающий контроль в России» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ndt.ru/> - Режим доступа свободный;
- Промышленный портал Complexdoc [Электронный ресурс]. URL: <http://www.complexdoc.ru/>- Режим доступа - свободный.
- Акустический журнал <http://www.akzh.ru/>.

8.5. Перечень изданий, используемых в образовательном процессе:

Учебная литература:

1. Дымкин Г.Я., Р.С. Коновалов, В.Н. Коншина. Волны в упругих средах. Часть 1. Учебное пособие. - СПб: ПГУПС, 2015. - 70 с.;
2. Дымкин Г.Я., Р.С. Коновалов, В.Н. Коншина. Волны в упругих средах. Часть 2 Учебное пособие. - СПб: ПГУПС, 2016 - 48.;
3. Алешин, Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений [Электронный ресурс] : учебное пособие. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2013. — 576 с. —

Режим доступа:  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=63211](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=63211) — Загл. с  
экрана.

8.6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых в образовательном процессе:

- Личный кабинет ЭИОС [Электронный ресурс]. – URL: [my.pgups.ru](http://my.pgups.ru) — Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Электронная информационно-образовательная среда. [Электронный ресурс]. – URL: <https://sdo.pgups.ru> — Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации – URL: <http://docs.cntd.ru/> — Режим доступа: свободный.
- Официальный сайт НИИ мостов и дефектоскопии <http://www.ndt.sp.ru/> - Режим доступа свободный.
- Сервер «Неразрушающий контроль в России» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ndt.ru/> - Режим доступа свободный;
- Акустический журнал URL: <http://www.akzh.ru/> - - Режим доступа свободный.

Разработчик программы

к.т.н., доцент  
16.01.2026 г.

В.Н. Коншина