

Болнокин В.Е., Сторожев В.И., Зыонг Минь Хай

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ
ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ
ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Монография

Воронеж

Издательство «Научная книга»

2016

УДК 681.88:623.827

ББК 39.4

Б 79

Рецензенты:

Васичев Б.Н. Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, д-р физ.-мат. наук, профессор (Высшая школа экономики - Московский государственный институт электроники и математики)

Карабутов Н.Н. д-р техн. наук, профессор (Московская государственная академия водного транспорта)

Б 79 Болнокин, В.Е. Исследование систем гидроакустического экранирования для подводных транспортных средств: Монография / В.Е.Болнокин, В.И.Сторожев, Зыонг Минь Хай. – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2016. – 196 с.

ISBN 978-5-98222-888-8

Монография посвящена проблеме исследования систем гидроакустического экранирования для подводных транспортных средств. Анализируются характеристики источников акустических полей подводных транспортных средств. Дается обзор наиболее эффективных методов снижения гидроакустической активности подводных транспортных средств и предлагается нечеткая разветвленная иерархическая модель обобщенного индекса их гидроакустической активности, позволяющая вырабатывать многокритериальные оптимизированные стратегии снижения акустической активности в условиях задания различных комплексов технологических ограничений. Рассматриваются вопросы построения и разработки методик анализа моделей однослойных и многослойных плоских элементов систем гидроакустической защиты и экранирования из однородных и функционально-градиентных анизотропных материалов, а также моделей функционирования технических систем перфорированных многосвязных поперечно-анизотропных эластичных гидроакустических покрытий с разнотипно герметизированными цилиндрическими полостями. Исследуются модели многокомпонентных систем гидроакустического экранирования цилиндрических электроакустических преобразователей и антенн подводных транспортных средств с использованием функционально-градиентных неоднородных анизотропных материалов.

УДК 681.88:623.827

ББК 39.4

Б 79

ISBN 978-5-98222-888-8

**© Болнокин В.Е., Сторожев В.И.,
Зыонг Минь Хай, 2016**

Содержание

Введение	5
Глава 1. Проблемы моделирования и системного анализа гидроакустической активности подводных транспортных средств.....	11
1.1 Характеристика источников акустических полей подводных транспортных средств	11
1.2 Ведущие методы снижения гидроакустической активности подводных транспортных средств	29
1.3 Нечеткая иерархическая модель обобщенного индекса гидроакустической активности подводных транспортных средств	37
1.4 Системы защитных обтекателей и гидроакустических покрытий для конструкций подводных транспортных средств	49
1.5 Гидроакустические антенны и преобразователи и системы элементов их звукозащитного экранирования	63
Глава 2. Модели оптимизации функциональных характеристик гидроакустических покрытий и элементов систем экранирования из низкосимметричных анизотропных материалов	88
2.1. Основные соотношения моделей однослойных и многослойных плоских анизотропных элементов систем гидроакустической защиты и экранирования	88
2.2. Методика численно-аналитического исследования модели однослойного экранирующего элемента в акустической среде	92
2.3 Анализ модели многокомпонентного экранирующего покрытия с системой твердых анизотропных и жидкостных слоев	102
2.4 Анализ модели многокомпонентного экранирующего элемента с системой идеально контактирующих твердых анизотропных слоев	107
2.5 Подходы к определению оптимизированных технологических параметров плоских элементов систем гидроакустического экранирования из низкосимметричных анизотропных материалов	110

Глава 3. Моделирование и оптимизация характеристик плоских элементов систем экранирования из неоднородных функционально-градиентных анизотропных материалов.....	115
3.1 Соотношения моделей плоских элементов систем гидроакустической защиты и экранирования из неоднородных функционально-градиентных анизотропных материалов	115
3.2 Теоретическое исследование модели функционирования однослойного экранирующего элемента из функционально-градиентного экспоненциально-неоднородного анизотропного материала	118
3.3. Анализ модели однослойного элемента системы экранирования из функционально-градиентного анизотропного материала с экспоненциально-степенной толщиной неоднородностью ...	124
3.4 Методики определения оптимизированных технологических параметров плоских элементов систем гидроакустического экранирования из функционально-градиентных материалов .	132
Глава 4. Анализ моделей односвязных и многосвязных систем гидроакустической защиты и экранирования с анизотропными цилиндрическими элементами	139
4.1 Анализ модели цилиндрического гидроакустического излучателя с системой анизотропных элементов экранирования	139
4.2 Модели распространения упругих волн по толщине многосвязных анизотропных гидроакустических покрытий с системами цилиндрических полостей	150
4.3. Квазистатические оценки для релеевских поправок в скоростях упругих волн по толщине многосвязного поперечно-анизотропного гидроакустического покрытия с герметизацией полостей проскальзывающей металлической пластиной	158
4.4. Квазистатические релеевские поправки для скоростей упругих волн в многосвязном поперечно-анизотропном несжимаемом покрытии с герметизацией полостей жестко прикрепленной металлической пластиной	161
Список использованных литературных источников.....	165

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших, сохраняющих первостепенную актуальность аспектов обширной и многоплановой научно-технической проблемы проектирования и эксплуатации различных категорий подводных транспортных средств (ПТС) была и остается проблема акустических полей ПТС. Уместно отметить, что эта проблема, в свою очередь является разделом более общих знаний о физических полях ПТС – гидроакустических, гидродинамических, магнитных, электрических, низкочастотных электромагнитных, тепловых и оптических, являющихся, в первую очередь, результатом влияния транспортного средства на окружающую среду и выделяющихся на фоне физических полей водной среды (океана).

В исследованиях по проблематике акустических полей ПТС также существует достаточно обширный ряд направлений, которые в совокупности можно условно обозначить как проблемы гидроакустической защиты и снижения уровней акустической активности ПТС, а также проблемы использования гидроакустических полей для идентификации объектов в окружающей среде, в механизмах позиционирования ПТС и в качестве канала связи ПТС. Решение каждой из этих проблем имеет круг целевых установок в зависимости от категории и специфики условий эксплуатации ПТС.

Так задача снижения уровня совокупного гидроакустического излучения ПТС в общем контексте заключается в уменьшении гидроакустической «зашумленности» в окружающей среде как фактора негативного влияния на экологическую обстановку, на процессы морского промысла, на технологии гидролокации и подводной связи. Для ПТС специального военного назначения проблема гидроакустической защищенности заключается также в снижении возможности их пассивного обнаружения и идентификации по генерируемым акустическим сигналам различной природы, уровня и спектра; в снижении вероятности выхода на уровни гидроакусти-

ческой чувствительности в системах подводного противолодочного оружия; в снижении уровней интенсивности и контрастности отраженных от ПТС сигналов в технологиях активного гидроакустического зондирования. Для ПТС, используемых в автоматизированных технологиях глубоководного монтажа, высокие уровни собственных гидроакустических излучений и поля дифракции гидроакустических волн усложняют функционирование и снижают точность работы гидроакустических устройств локации и позиционирования. Сходные проблемы снижения акустической активности свойственны и для ПТС, используемых для научных целей при осуществлении гидрофизических изысканий, в подводной картографии, в сейсмоакустике.

Собственные предметно-целевые поля имеют и проблемы гидроакустической локации, генерирования и приема гидроакустических сигналов, гидроакустической связи. В этих случаях ключевыми заданиями является обеспечение эффективного направленного излучения «незашумленных» гидроакустических сигналов, энергетически эффективного контрастного приема, фильтрации и обработки сигналов этой физической природы.

При неоспоримых достижениях системных научных исследований и реализованных технологических разработок в данных областях, возможности совершенствования научной базы для оптимизированных технологий гидроакустической защиты и гидроинформационных технологий далеко не исчерпаны. Это касается, в частности, актуальных проблем оптимизации систем гидроакустических покрытий и гидроакустического экранирования для конструкций и приборов подводных транспортных средств.

Так, значительное количество опубликованных теоретических исследований и защищенных патентами технических решений посвящено конструкциям гидроакустических экранов и корпусных защитных гидроакустических покрытий ПТС. Здесь, прежде всего, можно выделить исследования по изотропным виброзащитным покрытиям составной многослой-

ной структуры, содержащим эластичные слои с высокими показателями демпфирования, рассеяния энергии ультразвуковых волновых колебаний. Второй обширный класс технологических решений представлен конструкциями покрытий в виде изотропного эластичного слоя (пакета слоев), содержащего внутренние полости с различными геометрическими конфигурациями, заполнениями и схемами взаимного расположения. В частности, рассмотрены случаи размещения в эластичном слое покрытия внутренних сферических полостей различных размеров; размещения двухпериодической системы внутренних полостей цилиндрического либо псевдоконического рупороподобного очертания. Указанные особенности внутреннего строения призваны усилить эффекты рассеяния распространяющихся по толщине слоя ультразвуковых волн деформаций, порождаемых гидроакустическими воздействиями.

Вместе с тем, вопросы математического моделирования и оптимизации систем гидроакустических экранов и защитных гидроакустических покрытий для корпусных конструкций и приборов ПТС на основе использования особенностей распространения волн механических деформаций в низкосимметричных анизотропных вязкоупругих материалах, а также использования специфики волнового деформирования нового современного класса неоднородных функционально-градиентных материалов, остаются новыми неисследованными актуальными задачами для рассматриваемой научно-технологической области.

Отдельный специфический класс научно-технических задач из рассматриваемой области составляют проблемы гидроакустического экранирования таких классов приборов ПТС, как гидроакустические излучатели и гидроакустические антенны. При всем разнообразии подходов к разработке конструкций экранов для гидроакустических излучателей и антенн, вопросы использования пространственных геометрических моделей для элементов экранирования и применения в таких конструкциях низкосим-

метричных анизотропных функционально-градиентных упругих и вязкоупругих материалов являются на сегодняшний день открытыми актуальными и перспективными задачами моделирования и оптимизации характеристик гидроакустических преобразователей.

Представленные соображения обуславливают актуальность дальнейшего исследования проблемы анализа математических моделей функционирования, оптимизации и управления параметрами технических систем гидроакустических экранов и покрытий для конструкций и приборов подводных транспортных средств с использованием материалов, обладающих комплексом усложненных физико-механических свойств. Методы дальнейшего снижения гидроакустической активности и оптимизации характеристик гидроакустического экранирования корпусов и приборов подводных транспортных средств могут быть предложены на основе изучения математических моделей функционирования, оптимизации и управления параметрами технических систем гидроакустических экранов и покрытий с использованием новых классов неоднородных анизотропных упругих и вязкоупругих конструкционных материалов.

Развернутый анализ этой проблемы предусматривает, в частности, систематизацию ведущих аспектов проблемы снижения гидроакустической активности подводных транспортных средств, включая характеристику источников акустических полей и подходов к созданию технических систем гидроакустического экранирования, защитных обтекателей и гидроакустических покрытий для конструкций и приборов подводных транспортных средств; создание нечеткой иерархической модели обобщенного индекса гидроакустической активности подводных транспортных средств; построение математических моделей однослойных и многослойных плоских анизотропных элементов систем гидроакустической защиты и экранирования для подводных транспортных средств и разработку методик их численно-аналитического исследования; построение математических мо-

делей плоских элементов систем гидроакустической защиты и экранирования из неоднородных функционально-градиентных анизотропных материалов и методик их исследования; разработку подходов к определению оптимизированных технологических параметров плоских элементов систем гидроакустического экранирования из однородных и неоднородных анизотропных материалов; построение и численно-аналитическое исследование математических моделей систем неоднородных анизотропных элементов экранирования цилиндрических гидроакустических излучателей; построение и исследование математических моделей распространения ультразвуковых волн в многосвязных перфорированных анизотропных гидроакустических покрытиях с системами герметизированных цилиндрических полостей.

Представляемые в монографии исследования осуществляются с использованием методов классического и нечеткого математического моделирования и оптимизации, теоретических математических методов гидроакустики, математических методов теории волновых процессов в анизотропных конструктивных элементах технических систем. Их конкретными заданиями явились: комплексный системный анализ проблемы гидроакустической активности подводных транспортных средств, методов ее снижения и разработка нечеткой иерархической модели обобщенного индекса гидроакустической активности; разработка и исследование теоретических математических моделей функционирования и оптимизации характеристик технических систем плоских однослойных анизотропных гидроакустических покрытий и элементов экранирования для конструкций и приборов подводных транспортных средств; разработка и исследование математических моделей функционирования и оптимизации характеристик для структурированных многослойных плоских анизотропных гидроакустических покрытий и элементов экранирования конструкций и приборов подводных транспортных средств; разработка и исследование математиче-

ских моделей функционирования и оптимизации характеристик технических систем плоских гидроакустических покрытий и элементов экранирования подводных транспортных средств из функционально-градиентных анизотропных упругих и вязкоупругих материалов; разработка и исследование математических моделей многосвязных технических систем гидроакустического экранирования цилиндрических преобразователей и антенн подводных транспортных средств с использованием неоднородных анизотропных компонентов; разработка и исследование усовершенствованных математических моделей технических систем перфорированных многосвязных поперечно-анизотропных гидроакустических покрытий с разнотипно герметизированными цилиндрическими полостями для подводных транспортных средств.

Рассматриваемые в монографии математические модели и методы, а также закономерности и выводы, полученные в результате исследований, являются основой для проектных конструкторских технических решений, обеспечивающих снижение гидроакустической активности подводных транспортных средств, а также повышение точности работы их гидроакустического приборного оснащения.

Научное издание

Болнокин Виталий Евгеньевич
Сторожев Валерий Иванович
Зыонг Минь Хай

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО
ЭКРАНИРОВАНИЯ
ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Монография

Издание публикуется в авторской редакции

Дизайн обложки С.А. Кравец

Подписано в печать 11.01.2016. Формат 60x84 1/16
Усл. печ. л. 12,6. Заказ 000. Тираж 500 экз.

ООО Издательство «Научная книга»
394077, Россия, г. Воронеж, ул. 60-й Армии, 25-120
<http://www.sbook.ru/>

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО «Цифровая полиграфия»
394036, Россия, г. Воронеж, ул. Ф. Энгельса, 52
Тел. (473) 261-03-61