

Военно-морской политехнический институт ВУНЦ ВМФ “Военно-морская академия”,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Изложен оригинальный теоретический принцип компенсации вибрационных помех, искажающих сигналы гидрофизических преобразователей поля скорости, установленных на подвижных носителях аппаратуры для исследования морской турбулентности. Предложенный принцип и его практическая реализация для решения актуальной научно-технической задачи рассмотрены как пример использования новой физической идеи в качестве учебного материала. Знакомство с содержанием статьи способствует повышению квалификации преподавателей физики.

Ключевые слова: учебный материал; физическая идея; интеграл движения твёрдого тела; морская турбулентность; гидрофизические преобразователи поля скорости; компенсация вибрационных помех

1. Введение

Фундаментальная подготовка специалистов является важной задачей образования в технических вузах. Решение этой задачи предполагает, прежде всего, глубокое изучение и творческое усвоение традиционного курса общей физики, а также математики и других естественнонаучных дисциплин. Дополнительным средством фундаментальной подготовки должна служить выработка у студентов умения воспринимать новые физические идеи, которые в дальнейшем могут быть взяты за основу при решении актуальных научно-технических проблем.

Однако на пути ознакомления студентов с современными физическими идеями существуют серьезные методические трудности. Следует отметить, по крайней мере, две из них. Первая трудность

заключается в том, что для восприятия студентами новых физических идей им изначально необходимо иметь достаточно высокий уровень знаний по физике и математике. Вторая трудность состоит в том, что поиск таких идей, доступное изложение их сущности и доходчивое разъяснение их практической ценности требует от преподавателя широкой эрудиции и методического мастерства, то есть соответствующей квалификации.

В данной статье, в качестве примера, кратко рассмотрена оригинальная физическая идея и показана возможность использования этой идеи для практического решения актуальной научно-технической проблемы. Именно простота рассмотренной идеи, четкость её математической формулировки и ясность путей её использования обусловили выбор этой идеи в качестве иллюстрации того, что обе указанные выше методические трудности в принципе преодолимы: преподавателю по силам доступно изложить подобную физическую идею, а студенту вполне по силам понять её.

2. Суть научно-технической проблемы

Эффективное освоение Мирового океана возможно только при условии точного знания его гидрофизических полей, так как эти поля в значительной степени определяют динамику водных масс, интенсивность химических и биологических процессов, характер распространения акустических и электромагнитных волн, условия работы разнообразных технических устройств в морской среде и т.д. Большое научное и практическое значение имеет, в частности, изучение поля скорости морской турбулентности, поскольку во многих случаях оно является первичным по отношению к другим гидрофизическим полям морской среды и оказывает существенное влияние на характеристики этих полей.

Одним из перспективных направлений исследования океанской турбулентности является использование преобразователей поля скорости, установленных на подвижных маневренных носителях гидрофизической аппаратуры: научно-исследовательских судах, буксируемых линиях, самоходных аппаратах и др. Существующие преобразователи поля скорости преобразуют в электрический сигнал все три пространственные составляющие пульсационной скорости морской среды в месте своего расположения.

Однако индикация турбулентных возмущений морской среды существенно затрудняется наличием помех, вызванных вибрациями носителя гидрофизической аппаратуры. Физическая причина возникновения помехи состоит в том, что преобразователь поля скорости, установленный на движущемся аппарате, воспринимает собственную колебательную скорость относительно жидкости как полезный сигнал. Возникающая аддитивная помеха искажает сигнал пульсационной скорости, что приводит к снижению эффективности индикации турбулентных возмущений в морской среде и к недопустимо большой дополнительной погрешности определения турбулентной энергии в этих возмущениях.

3. Новый принцип компенсации аддитивных вибрационных помех

В работах автора [1], [2], [3] предложен и исследован новый принцип компенсации аддитивных вибрационных помех и построения основанных на нём систем преобразователей поля скорости нового типа. Такая система обладает замечательным свойством – она потенциально нечувствительна к вибрациям и неравномерности собственного движения, но сохраняет чувствительность к турбулентным пульсациям среды, в которой она движется.

Новый принцип заключается в том, что расположение преобразователей на носителе и алгоритм совместной обработки их сигналов удовлетворяют условиям существования специфического интеграла движения твердого тела. Интегралом движения твердого тела называется физическая величина, зависящая от мгновенных значений скоростей движения отдельных точек тела, но не изменяющаяся со временем при произвольном движении тела. Оказывается, что если взаимное расположение некоторого количества жестко связанных точек тела удовлетворяет определенным условиям, то линейная комбинация J величин u_i – проекций мгновенных значений скоростей рассматриваемых точек тела на заданные направления не зависит от времени и равна нулю при произвольном движении тела в нетурбулизованной среде, то есть

$$J(t) = \sum_{i=1}^n c_i u_i(t) = 0. \quad (1)$$

Очевидно, что, если расположить преобразователи поля скорости в точках, удовлетворяющих условию существования соответствующего интеграла, а оси чувствительности преобразователей ориентировать вдоль вышеупомянутых направлений, то выходной сигнал системы

$$S(t) = \sum_{i=1}^n c_i S_i(t) \quad (2)$$

будет нечувствителен к собственным (в том числе колебательным) движениям системы. Здесь $S_i(t)$ – сигнал i -го преобразователя.

Простейшим векторным интегралом движения твердого тела является разность мгновенного значения вектора скорости середины прямого отрезка и полусуммы мгновенных значений векторов скоростей концов этого отрезка:

$$\vec{V}_1 - \frac{\vec{V}_2 + \vec{V}_3}{2} = 0. \quad (3)$$

Поэтому простейшая трехкомпонентная виброзащищенная система, основанная на векторном интеграле движения твердого тела, представляет собой три идентичных трехкомпонентных преобразователя поля скорости, соответственные оси чувствительности которых параллельны (другими словами, преобразователи одинаково ориентированы в потоке), а сами преобразователи расположены эквидистантно вдоль одной прямой. Для каждой из трех пространственных составляющих пульсационной скорости выходной сигнал такой системы, свободный от аддитивной вибрационной помехи, представляет собой разность мгновенного значения сигнала среднего преобразователя и полусуммы мгновенных значений сигналов крайних преобразователей:

$$U = u_1 - \frac{u_2 + u_3}{2}. \quad (4)$$

Очищенный от вибрационной помехи выходной сигнал системы преобразователей U используется для дальнейшей обработки с целью индикации турбулентных возмущений в морской среде и определения параметров турбулентности.

4. Результаты лабораторных и натурных экспериментов

Анализ сигналов, полученных в лабораторных экспериментах на затопленной струе с искусственным возбуждением колебаний системы показал существенное подавление вибрационного пика в спектре комбинационного выходного сигнала системы, сформированного в соответствии с алгоритмом (4), реализующим предложенный принцип компенсации помех.

Индикация турбулизированных областей традиционным методом по схеме “полосовая фильтрация – квадрирование – равномерное осреднение” продемонстрировала более высокий контраст выходного сигнала на пересечениях турбулентных возмущений морской среды (а следовательно, и более высокую эффективность индикации этих возмущений) при использовании комбинационного выходного сигнала виброзащищенной системы по сравнению с контрастом сигналов отдельных преобразователей, образующих систему.

5. Заключение

В данной работе кратко изложен оригинальный физический принцип компенсации аддитивных вибрационных помех, искажающих сигналы гидрофизических преобразователей поля скорости, установленных на подвижных носителях аппаратуры. Принцип основан на существовании нового интеграла движения твердого тела. В качестве иллюстрации приведен вариант виброзащищенной системы преобразователей, реализующей указанный принцип.

Изложенный в работе принцип и его практическая реализация для решения актуальной научно-технической задачи могут быть рассмотрены как пример использования новой физической идеи в качестве учебного материала.

Представленная работа является в значительной степени дискуссионной. Уже само высказанное в ней предложение знакомить студентов с новыми физическими идеями, выходящими за рамки традиционной программы по физике, не вполне очевидно и требует обсуждения. Требуется также конкретный круг идей, которые можно было бы рассмотреть аналогично идее, рассмотренной в данной работе.

Тем не менее, даже безотносительно к возможности непосредственно использовать материалы данной статьи в учебном процессе, автор считает целесообразным познакомить преподавателей и студентов технических вузов с оригинальной физической идеей и её важным практическим приложением. Знакомство со статьей должно способствовать расширению кругозора и развитию творческих способностей её читателей, а следовательно, и повышению их квалификации.

Список литературы:

1. Федотов Г. А. Компенсация вибрационных помех преобразователям поля скорости, установленным на маневренных носителях гидрофизической аппаратуры. Монография. – СПб., 2003. 326 с. – Деп. в ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова 24.09.2003. № ДР-3910. Реферат опублик. в Сб. рефератов НИОКР, Всероссийский институт межотраслевой информации (ВИМИ), вып. 4, 2003.
2. Федотов Г. А. Виброзащищенные системы преобразователей поля скорости для гидрофизических комплексов. // Системный анализ при создании и применении кораблей, вооружения и военной техники. Сб. статей. – СПб.: Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова. Вып. 18. 2007. – С. 177–186.
3. Федотов Г. А. Корреляционные свойства поля скорости морской турбулентности, используемые в виброзащищенных системах гидрофизических преобразователей для подвижных носителей аппаратуры. // Морские интеллектуальные технологии. – 2009. – № 4 (6). – С. 24–26.

G. A. Fedotov

An example of using a new physical idea as an educational material

*Naval Polytechnical Institute of the Educational and Research Center "Naval Academy",
Saint Petersburg, Russia*

Abstract. *The original theoretical principle of compensation of vibration interference distorting the signals of hydrophysical velocity field sensors installed on mobile carriers of instrumentation for the study of marine turbulence is described. The proposed principle and its practical implementation for solving an urgent scientific and technical problem are considered as an example of using a new physical idea as an educational material. Familiarization with the content of the article contributes to the professional development of physics teachers.*

Keywords: *educational material; physical idea; integral of solid body motion; sea turbulence; hydrophysical velocity field sensors; vibration interference compensation*