

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Бусько Ильи Владимировича на тему: «Идентификация параметров морского волнения в бортовой интеллектуальной системе», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки).

Задача идентификации спектра и амплитуд морского волнения на основании измерения параметров движения судна не теряет своей актуальности. Трудности этой проблемы связаны с неоднозначностью решения, характерной для обратных задач, нелинейностью системы судно-волнение, как механизма преобразования воздействия волн в качку судна, завышением оценок волнения в диапазоне высоких частот, необходимостью проведения идентификации в реальном времени в режиме нейронной сети при использовании бортовых измерительных систем для предсказания изменения окружающей обстановки по маршруту движения судна. При использовании для решения задачи идентификации математической модели важно располагать наиболее полным описанием различных возможных видов качки и степени их связности для рассматриваемого типа судна и его геометрических параметров.

Сегодня, актуальность этой задачи усиливается с учетом развития автономного судоходства и использования безэкипажных морских транспортных систем, а также стремления снизить время прохождения маршрутов и, соответственно обеспечить экономию топлива.

33-06-39 от 01.03.2021

В работе используется понятие *климатического спектра*, когда в рассматриваемой акватории известны все волновые погоды и их аппроксимации. При этом удастся ограничиться достаточно грубыми оценками спектральной плотности по нескольким видам качки чтобы определить подходящую (*параметрическую*) аппроксимацию данного климатического спектра и заменить стандартный вычислительный подход сравнительным, который предлагается автором работы в качестве нового алгоритма идентификации.

Предлагаемый в работе для идентификации подход заменяет задачу универсализации алгоритма восстановления спектра волнения задачей локализации этого алгоритма. В перспективе, может появиться атлас климатических спектров акваторий мирового океана, в которых транспортные потоки наиболее интенсивны.

Диссертация содержит введение и три главы и список литературы, включающий около шестидесяти наименований. В **первой главе** обсуждаются особенности морской погоды, модели взаимодействия судна и морского волнения, задачи восстановления спектра морского волнения посредством динамических измерений процесса качки судна, приводится соответствующий аналитический обзор и постановка задачи идентификации в рамках представляемой работы. **Вторая глава** обсуждает теоретические основы решения задачи восстановления параметров морского волнения, в частности его спектральной плотности. В ней излагаются существующие подходы к идентификации параметров, вводится понятие *климатического спектра* и алгоритм его применения. **Третья глава** содержит метод восстановления спектральной плотности волнения, подходы к линеаризации нелинейных случаев взаимодействия судна с волнами, способы генерации возмущений на основе различных спектров, анализ влияния параметров модели и шумовой составляющей на

результаты восстановления. В ней же обсуждается восстановление в линейном случае, линеаризованном (нелинейном) случае, особенности применения «климатического спектра» для борьбы с осцилляциями, сопровождающими восстановление спектра волнения. Предметом рассмотрения в этой главе также является вопрос о применении двух (*чистых*) видов качки для восстановления спектральной плотности. Глава завершается обсуждением структуры программного обеспечения и архитектуры аппаратного решения.

Основные результаты диссертации нашли отражение в публикациях и докладах автора с достаточным личным участием.

Подход к идентификации волнения примененный в этой работе, основан на косвенных динамических измерениях процесса колебательного движения судна в сочетании с концепцией климатического спектра, оценкой формы спектральной плотности и ее изменения, Последнее становится инструментом прогнозирования изменения погоды в данном районе плавания.

В случае нелинейного взаимодействия судна с волнением для выполнения линеаризации нелинейные уравнения качки заменяются эквивалентными им линейными так, чтобы статистические (энергостатистические) характеристики качки,, полученные применением к этим линеаризованным уравнениям спектрального метода были бы такими же как и полученные в результате точного (скажем методом статистических испытаний) решения исходных нелинейных уравнений. Корректная замена такого рода может быть осуществлена методом статистической линеаризации. Этот подход демонстрируется в работе на примере укороченного уравнения бортовой качки при нелинейном демпфировании и нелинейном восстанавливающим моменте. Далее в работе используются методы статистической линеаризации предложенные И.Е. Казаковым: (1)

приравнивание дисперсий на выходе нелинейных и линеаризованных звеньев, (2) применение условия минимума математического ожидания квадрата разности истинной и аппроксимирующей функции, (3) вычисление коэффициентов линеаризации как среднего арифметического от коэффициентов линеаризации, полученных первыми двумя способами.

Для нелинейной модели принят пример нелинейности восстанавливающего момента пятой степени. Примеры восстановления спектра волнения приведены для одномерных линеаризованных нелинейных процессов: бортовой и килевой качки.

Выведено, что вдали от резонансных режимов данного вида качки, предлагаемые методы восстановления спектральной плотности дают приемлемые результаты.

В ходе рассмотрения работы возникли некоторые комментарии и вопросы.

- ❖ Нет ясного объяснения появления осцилляций при восстановлении спектров, повидимому связанного с неустойчивостью решения обратной задачи восстановления спектра волнения по заданным параметрам колебаний судна.
- ❖ Было бы полезно для выбранного конкретного района плавания привести его климатический спектр и для данного судна и вида качки провести идентификацию и оценку вариации параметров волнения на избранном интервале времени.
- ❖ По сути, метод восстановления спектров волнения в рамках концепции *климатического спектра* рассмотрен в работе на примере систем с одной степенью свободы, то

есть *чисто* бортовой или *чисто* килевой качки. Неясно как действовать в случае когда различные виды качки не разделяются (связанная качка).

Вышесказанное ни в коей мере не умаляет значения рассматриваемой диссертации на тему «Идентификация морского волнения в бортовой интеллектуальной системе», которая, несомненно, соответствует основным требованиям, установленным приказом от 01.09.2016 №6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а ее автор-соискатель Бусько Илья Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки). Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен

Член диссертационного совета

з.д. науки РФ, д.т.н., профессор СПбГМТУ



Рождественский К.В.