

Конференции

24-я Международная конференция «Волны на воде и плавающие тела» – «International Workshop on Water Waves and Floating Bodies» (IWWWFB24)*

Международная конференция «Волны на воде и плавающие тела» проводятся ежегодно с 1986 г. и собирают ведущих ученых и инженеров (более чем из 20 стран мира), занимающихся исследованиями волновых движений жидкости и влиянием волн на плавающие и погруженные тела. В этом году конференция IWWWFB впервые проводилась в России, в г. Зеленогорске (Ленинградская обл.) на базе отеля «Гелиос» с 19 по 22 апреля 2009 г. В конференции приняли участие 73 специалиста из 14 стран: России, Франции, Великобритании, Китая, Южной Кореи, США, Италии, Норвегии, Новой Зеландии, Дании, Греции, Израиля, Нидерландов, Канады. Был заслушан 51 доклад.

24-я конференция была организована Институтом гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН (Новосибирск, Россия) совместно с Университетом Восточной Англии (Норидж, Великобритания). Помощь и поддержку в подготовке и проведении конференции оказал Институт проблем машиноведения РАН (Санкт-Петербург, Россия) Российский фонд фундаментальных исследований, Office of Naval Research Global (США), Bureau Veritas (Франция), а также ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова и одноименный РНТО судостроителей. Всем спонсорам организаторы и участники конференции выражают большую благодарность.

Рабочие встречи-семинары по проблемам взаимодействия волн на воде и плавающих тел были организованы по инициативе профессоров Дэвида Эванса



Слева направо: Чанг Мей, Д. Эванс, Дж. Ньюмен



Дж. Гру

(D. V. Evans, Бристольский университет, Великобритания) и Дж. Ньюмена (J. N. Newman, Массачусетский технологический институт, США). Первоначально предназначение этих встреч состояло в том, чтобы наладить связь между специалистами Великобритании и США. Тогда же было предложено дать этому мероприятию название *Workshop*, что отражает его основную задачу: совместную работу и общение научных сотрудников и инженеров с целью практических приложений научных результатов. Вскоре эти встречи вызвали интерес учёных из других стран и переросли в ежегодные конференции, которые проходили в США (1986, 1988, 1991, 1999), Великобритании (1987, 1990, 1995, 2002, 2006), Франции (1992, 1997, 2003), Норвегии (1989, 2005), Японии (1994, 2001), Канаде (1993), Германии (1996), Нидерландах (1998), Израиле (2000), Италии (2004), Хорватии (2007) и Южной Кореи (2008). В 2010 г. проведение IWWWFB запланировано в Китайской Народной Республике (г. Харбин).

* Материал предоставили Ерманюк Е.В., Коробкин А.А., Максимов В.В., Стурова И.В., Хабахпашева Т.И.

В этом году конференция была посвящена выдающемуся ученому, профессору Массачусетского технологического института (США) Чангу Мею (С. С. Mei), который внес значительный вклад в развитие гидродинамики океана и прибрежной зоны. Председателем рабочего комитета в настоящее время является профессор Дж. Гру (J. Grue), Университет Осло, Норвегия.

С 1992 г. в работе конференции принимали участие российские учёные – сотрудники Института гидродинамики СО РАН (Новосибирск), Института проблем машиноведения РАН (Санкт-Петербург), Института прикладной физики РАН (Нижний Новгород), Института вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск).

Традиционно все IWWFEB проводятся в жестком, фиксированном формате. Особый акцент делается на организацию и проведение дискуссий между инженерами и учёными при участии молодых учёных и аспирантов. Основное требование к представляемым результатам – их новизна (как правило, принимаются только те доклады, результаты которых получены в последний год и нигде ранее не опубликованы). Работа конференции проходит в форме семинара: докладчику на выступление предоставляется 20 мин, а затем следует дискуссия с конструктивным рассмотрением проблемы, сравнением существующих подходов и выявлением тенденций развития. Жесткий формат работы позволяет заслушать около 50 докладов (без параллельных секций и стендовых докладов). Конференция работает по принципу: «Все слушают всех». До начала работы выпускаются Труды конференции.

В один из вечеров проводится заседание рабочего комитета сообщества IWWFEB, в котором принимают участие основатели конференций Дж. Ньюмен и Д. Эванс, а также организаторы прошедших и будущих конференций. На заседании заслушивается отчет оргкомитета проводимой конференции, согласовываются планы на ближайшие 4–5 лет и решаются текущие вопросы, связанные, в частности, с объединенным интернет-сайтом сообщества IWWFEB. На этой конференции с российской стороны активное участие принимали члены оргкомитета из Института гидродинамики им.М.А.Лаврентьева СО РАН профессор А.А.Коробкин, зав.лабораторией, канд.физ.-мат.наук Т.И.Хабахпашева, главный научный сотрудник, д-р физ.-мат.наук И.В.Стурова, из Института проблем машиноведения РАН ведущий научный сотрудник, д-р физ.-мат.наук О.В.Мотыгин, зав.лабораторией, д-р физ.-мат.наук Н.Г.Кузнецов.



Н. Г. Кузнецов



А. А. Коробкин



И. В. Стурова



О. В. Мотыгин
Т. И. Хабахпашева

Доклады, представленные на 24-й конференции, можно условно разделить на пять блоков, ниже даны их краткие рефераты.

Общие вопросы теории волн

Андронов А.Н. (Россия). On the stability of bifurcating solutions in some problems about capillary-gravity waves

Рассмотрена трехмерная задача о капиллярно-гравитационных волнах в слое флотирующей жидкости. Используя теорию бифуркаций инвариантных групп и методы группового анализа дифференциальных уравнений, определены периодические потенциальные течения, ответвляющиеся от основного движения с постоянной скоростью. Предположение о бесконечной глубине жидкости позволило упростить доказательство существования бифуркационных решений при высоких размерностях вырождения линеаризованного оператора, вычислить их асимптотики и исследовать орбитальную устойчивость относительно возмущений той же самой симметрии.

Avni R., Toledo Y., Agnon Y. (Израиль). Linear and nonlinear complementary mild slope equations

Для исследования распространения периодических волн в жидкости с неровным дном выведено дополнительное уравнение плавных уклонов, используя лагранжиан безвихревого уравнения Грина-Нагди в пространственном случае. Представлено сопоставление результатов расчетов с экспериментальными данными для нескольких типов донных возвышений и показано их хорошее согласование.

Dingemans M.W., Klopman G. (Нидерланды). Effects of normalization and mild-slope approximation on wave reflection by bathymetry in a Hamiltonian wave method

Исследование поведения линейных поверхностных волн в жидкости с неровным дном выполнено на основе гамильтониана волнового движения с использованием приближения Буссинеска для описания вертикальной структуры течения. Построена модель плавных уклонов с характеристиками отражения, которые сравнимы по точности с моделью крутых уклонов. Представлены расчеты распространения волн над равномерным уклоном и показано хорошее согласование с результатами полной потенциальной модели.

Доброхотов С.Ю. (Россия). Complete and explicit asymptotics of solutions to the linearized shallow water equations generated by localized perturbations

В рамках линейной теории мелкой воды исследовано развитие начального возмущения в жидкости с неровным дном и неоднородным по горизонтали течением в приближении β -плоскости. Решения системы линейных гиперболических уравнений получены с помощью канонического оператора Маслова. Получены явные асимптотические формулы для описания течения в окрестности волнового фронта, который может иметь каустики. Предлагаемая модель служит для описания волн цунами в океане и движения мезомасштабных вихрей в атмосфере.

Duan W.Y., Zhang T.Y. (КНР). Non-reflecting simulation for fully-nonlinear irregular wave radiation

Обсуждаются преимущества и недостатки известных «неотражающих» условий на фиктивной границе области течения вдали от источника волн. Отмечается, что некоторые из них дают неудовлетворительные результаты для нерегулярных волн. Предлагается использовать комбинацию условий, полученных ранее для низкочастотной части нерегулярного волнения и ее высокочастотной составляющей. Показано, что такое составное условие применимо для линейных и нелинейных нерегулярных волн.

Engsig-Karup A.P., Bingham H.B. (Дания). Boundary-fitted solutions for 3D nonlinear water wave-structure interaction

Представлено дальнейшее развитие метода конечных разностей в приложении к трехмерным задачам со свободной границей и сложной формой дна и препятствий. Используется специальное преобразование переменных, в котором глубина жидкости становится постоянной. Показано, что такой прием позволяет проводить расчеты для сложных геометрий области течения и больших деформаций свободной границы.

Evans D.V. (Великобритания), *Peter M.A.* (Новая Зеландия). Reflection of water waves by a submerged horizontal porous plate

На основе линейной теории волн исследованы две задачи о рассеянии периодических поверхностных волн погруженной горизонтальной пористой пластиной в жидкости конечной глубины. Для полубесконечной пластины изучено косое набегание волн в неограниченном по горизонтали слое жидкости, а в плоском случае рассмотрено набегание волн на вертикальную стенку с прикрепленной к ней пластиной. Используя метод Винера – Хопфа, получено явное решение для коэффициента отражения в случае полубесконечной пластины. Для пластины конечной длины решение представлено в виде быстро сходящегося ряда. Продемонстрирована эффективность полученного решения в сравнении с известными результатами.

Faltinsen O.M., Timokha A. (Норвегия). Analytically-based solutions for linear sloshing

Представлены полуаналитические методы расчета собственных частот плескания жидкости в баках сложной формы. Используются асимптотические методы, метод аналитического продолжения и спектральные методы. Полученные приближенные результаты сравниваются с результатами прямых численных расчетов. Отмечаются преимущества аналитических методов по сравнению с численными.

Hara T., Kukulka T. (США). Wave spectrum and breaking wave statistics of growing and mature seas

На основе законов сохранения импульса и энергии ветра, а также и энергии волн предложена модель ветроволнового взаимодействия, связывающая спектр высот волн, статистику обрушения волн, профили скорости ветра и турбулентных напряжений. В качестве замыкающего соотношения принята связь между статистикой обрушения волн и спектром крутизны волн. Показано существенное влияние обрушения волн на ветроволновое взаимодействие, в частности, на величину притока ветровой энергии при описании динамики коротковолновой части волнового спектра.

Iafrati A. (Италия). Air entrainment and degassing process in breaking waves

На основе уравнений Навье-Стокса для двухжидкостной системы воздух-вода в двумерной постановке выполнено численное исследование захвата воздуха обрушающимися волнами. Рассмотрена эволюция периодических волновых пакетов, при различных значениях крутизны волн. Получена связь интенсивности захвата воздуха и начальной крутизны волн. Исследована статистика вовлечения воздуха в приповерхностный слой жидкости с учетом выхода пузырьков на свободную поверхность и вовлечения пузырьков за счет обрушения.

Kulczycki T. (Польша), *Кузнецов Н.Г.* (Россия). ‘High spots’ of the free surface for the fundamental sloshing mode

Исследованы свойства собственных колебаний жидкости в контейнере конечных размеров и для бесконечно глубокой жидкости, покрытой крышкой с отверстием конечного размера. Показано, что для низшей формы колебаний (с наименьшей частотой) экстремальные значения возвышения свободной границы достигаются на стенке конечного контейнера. В случае бесконечно глубокой жидкости максимальные возвышения имеют место во внутренней части свободной границы.

Molin B., Lecuyer B., Remy F. (Франция). Hydrodynamic modeling of partial dikes

Рассмотрена плоская задача дифракции волн на частично погруженном препятствии Т-образной формы в жидкости конечной глубины. Показано, что изменение размеров горизонтальных выступов существенным образом влияет на величину коэффициентов отражения и прохождения. Проведены также расчеты для перфорированных пластин в предположении квадратичного закона сопротивления для расхода жидкости, протекающей сквозь пластину. Показано, что для перфорированного препятствия могут быть получены характеристики, близкие к оптимальным с точки зрения практического применения.

Мотыгин О.В. (Россия), *McIver P.* (Великобритания). Trapping of gravity-capillary water waves by submerged obstacles

Исследованы свободные колебания жидкости с конечной энергией (так называемые захваченные волны) в плоской линейной задаче для бесконечно глубокой жидкости. Сформулирован критерий однозначной разрешимости задачи. Разработан алгоритм нахождения захваченных волн для сис-

темы погруженных тел с учетом поверхностного натяжения, основанный на использовании функции Грина. Предлагаемый метод применен к системе двух одинаковых цилиндров. Исследовано влияние поверхностного натяжения на частоту захваченных волн.

Zhao B.B., Duan W.Y. (КНР), Chen X.B. (Франция, КНР), Webster W.C. (США). Tsunamis simulations by using Green-Naghdi theory

В двухмерном случае для описания волн цунами, вызванных землетрясением или подводным оползнем, развиты модели мелкой воды Грина-Нагди 2-го и 3-го уровней, которые позволяют рассчитывать поведение поверхностных волн с сильной нелинейностью. Для численного решения использован конечно-разностный метод. Показано хорошее согласование численных результатов с экспериментальными данными. Отмечается, что результаты для 2-го и 3-го уровней модели Грина-Нагди практически совпадают.

Корабельные волны

Alam M.-R., Mei C.C. (США). Ships advancing near the critical speed in a shallow channel with a randomly uneven bed

Известно, что при равномерном движении судна, в канале со скоростью близкой к критической скорости распространения длинных волн, развивается нестационарное волновое движение, которое представляет собой солитоны, возникающие периодически вверх по потоку. Исследовано влияние статистически неровного дна. Используется приближение Буссинеска для мелкой воды. Определены осредненные характеристики свободной поверхности и волновых нагрузок в зависимости от среднеквадратичной шероховатости дна как для одиночного корабля, так и для каравана судов, движущихся с одинаковой скоростью. Показано, что для одиночного судна донная шероховатость ослабляет корабельные волны.

Aubault A., Yeung R.W. (США). Multi-hull wave-resistance in finite-depth waters

Рассмотрена задача о волновом сопротивлении многокорпусных судов в случае конечной глубины жидкости в рамках теории тонкого тела. Получены удобные для расчета формулы, проведены систематические расчеты для катамаранов, тримаранов и других многокорпусных конфигураций в случае различных вариантов взаимного расположения корпусов и различных чисел Фруда.

Chatjigeorgiou I.K., Mavrakos S.A. (Греция). Hydrodynamic diffraction by multiple elliptical cylinders

В рамках линейной теории разработан полуаналитический метод, основанный на использовании функций Матье, для исследования дифракции поверхностных волн на системе вертикальных эллиптических цилиндров, установленных на дне и пересекающих свободную поверхность. Представлены численные расчеты картины волнового поля и возмущающих сил для двух одинаковых цилиндров при различных углах набегающих волн. Показано, что возмущающие силы, действующие на систему цилиндров, существенно отличаются от случая одиночного цилиндра. При некоторых частотах волн и углах набегающих волн возможно резкое увеличение возвышения свободной поверхности как вне тел, так и между цилиндрами.

Чичерин И.А., Пустошный А.В. (Россия). On the estimation of wash effect of ship waves system

Предложена модификация нелинейного панельного метода к расчету задачи о волнах, генерируемых при стационарном движении судна в канале с береговыми откосами. При решении уравнения Лапласа при условии непротекания на поверхности тела и дне канала, а также при динамическом и кинематическом условиях на свободной поверхности тела, дно и свободная поверхность заменяются четырехугольными элементами с распределенными источниками Рэнкина в соответствии с классическим методом Хесса и Смита. Рассчитаны заплески волн на береговых откосах. Показано, что наибольшие заплески связаны с кормовой системой волн.

Chen X.B. (Франция, КНР), *Lu D.Q.* (КНР). Time-harmonic ship waves with the effect of surface tension and fluid

На основе линейных уравнений Озеена для потенциального течения вязкой жидкости построено решение задачи о движении пульсирующего массового источника с постоянной скоростью. На свободной поверхности учитывается поверхностное натяжение. Показано, что в полученном решении, в отличие от чисто гравитационных волн в идеальной жидкости, исчезают сингулярности вблизи возмущения и на больших временах. Учет вязкости не оказывает существенного влияния на гравитационные волны, однако приводит к сильному затуханию капиллярных волн.

Delhommeau G. (Франция), *Noblesse F.*, *Yang C.* (США). Highly simplified Green function for steady flow about a ship

Ключевое значение для эффективного расчета генерируемых судном волн и волнового сопротивления имеет построение функции Грина, достаточно простой для расчетов и «ухватывающей» при этом основные особенности геометрии судна. Предложена простая аппроксимация функции Грина для описания гидродинамики «тонких» судов, позволяющая избежать расчета двойного сингулярного интеграла Фурье, встречающегося в стандартной формулировке функции Грина. Проведено сопоставление результатов расчетов с использованием упрощенной и «точной» формулировок.

Eatock Taylor, R., *Taylor, P.H.*, *Drake, K.R.* (Великобритания). Tank wall reflections in transient testing
Экспериментальное или численное исследование колебаний плавающих тел проводится всегда в бассейнах конечных размеров. Влияние конечности бассейна и его формы на полученные результаты требует подробного анализа. Описываются эксперименты с вертикально колеблющимся конусом на поверхности воды в длинном канале. Расчеты выполнены для кругового бассейна с помощью нелинейной модели. Для определения соответствия численных и экспериментальных результатов решена линейная задача. Показано, что имеются выделенные частоты, вблизи которых линейные, нелинейные и экспериментальные результаты для гидродинамической силы существенно отличаются друг от друга. Важным результатом является то, что вдали от таких частот линейные и нелинейные численные результаты хорошо согласуются друг с другом.

Ferreira M.D., *Newman J.N.* (США). Diffraction effects and ship motions on an artificial seabed

Изучено влияние неровного дна на коэффициенты присоединенной массы и демпфирования, а также на возмущающие силы для большегрузных судов, заякоренных в прибрежной зоне. Численные расчеты основных гидродинамических характеристик выполнены для модели судна длиной 274 м, шириной 44,2 м, осадкой 11 м и восьми моделей различных донных неровностей при средней глубине жидкости 21,25 м. Показано, что разность глубин под носом и кормой судна существенна в основном для значений недиагональных гидродинамических коэффициентов. При некоторых значениях длин набегающих волн возможно появление стоячих волн, которые влияют на вертикальную возмущающую силу.

Greco M. (Италия, Норвегия), *Bouscasse B.* (Италия), *Collicchio G.*, *Lugni C.* (Италия, Норвегия). Weakly nonlinear seakeeping model: regular/irregular wave interaction with a ship without/with forward speed
Представлены расчеты гидродинамики быстроходного судна с учетом заливания палубы встречной волной и слеминга. При описании судна используется гипотеза слабого рассеивателя. Влияние скорости судна проявляется в изменении величин гидродинамических коэффициентов, силы Фруда-Крылова и волновой картины вокруг судна. Показано, что предложенная модель хорошо описывает качку судна, дает оценку появления эффекта заливания палубы и дополнительного волнового сопротивления при ходе на волнении. Расчеты проведены для регулярного и нерегулярного волнения.

Joncquez S.A.G., *Bingham H.B.*, *Andersen P.* (Дания). A comparison of methods for computing the added resistance of ships using a high-order BEM

В рамках линейной модели Ньюмана-Кельвина и модели «двойного тела» тестируются два метода расчета волнового сопротивления судна, основанные как на интегрировании давления по корпусу судна, так и на законе сохранения импульса. Численные результаты сопоставлены с экспериментальными данными для определенного типа судов. Отмечается, что с учетом разброса

в экспериментальных данных оба метода и обе модели достаточно хорошо предсказывают величину волнового сопротивления.

Noblesse F. (США), *Delhommeau G.* (Франция), *Yang C.* (США). Bow waves of a family of fine ruled ship hulls with rake and flare

Представлены результаты систематического исследования влияния параметров, описывающих геометрию носа судна, на носовую систему волн. Исследована конфигурация носа, определяемая четырьмя параметрами: осадкой, углом наклона форштевня, заострением носовых ватерлиний на уровне свободной поверхности и на уровне днища судна. Получена простая связь основных параметров носовой волны (высоты, профиля, длины, расстояния от вершины волны до носового перпендикуляра) с параметрами конфигурации носа судна и числом Фруда, определенным по осадке.

Porter R., Evans D.V. (Великобритания). Estimation of wall effects on floating cylinders

Для плоской линейной задачи предложен метод определения гидродинамических характеристик плавающих и погруженных тел, которые находятся вблизи твердой вертикальной стенки, на основе приближения большого удаления (wide-spacing approximation). Предполагается, что стенка расположена достаточно далеко от тела и ее воздействие эквивалентно набегающей волне с неизвестной амплитудой. Результаты предлагаемого метода сопоставлены с точными решениями для коэффициентов присоединенной массы и демпфирования полупогруженных цилиндров кругового и прямоугольного сечения. Показано их хорошее совпадение за исключением области низких частот.

Westphalen J., Greaves D., Williams C., Drake K., Taylor P. (Великобритания). Numerical simulation of an oscillating cone at the water surface using computational fluid dynamics

Нелинейное и нестационарное взаимодействие плавающего тела с жидкостью исследуется численно на основе решения уравнений Навье-Стокса методом контрольного объема для заданного вертикального движения конуса. Угол наклона образующей конуса к горизонтали равен 45° . Диаметр верхней плоской части конуса равен 60 см. Результаты численных расчетов сравниваются с экспериментальными данными для вертикальной силы, действующей на конус со стороны жидкости, и возвышения свободной границы. На поверхности конуса выполняется условие свободного проскальзывания. Показано, что расчеты хорошо предсказывают основные характеристики.

Соударение жидкости с твердыми телами

Abrahamsen B.C., Faltinsen O.M. (Норвегия). Decay of air cavity slamming pressure oscillations during sloshing at high fillings

При плескании жидкости в баке возможны удары жидкостью по крышке с захватом воздуха. Экспериментально и численно исследованы нагрузки на крышку бака, возникающие при таких ударах. Известно, что после замыкания воздушной каверны давление в ней совершает колебания с малым затуханием. Однако первый пик давления значительно превосходит второй пик. До настоящего времени неясно, что является причиной потери энергии после первого пика давления. Существует гипотеза, что первый пик давления на крышке имеет место до момента полного замыкания каверны и потеря энергии связана с вытеканием воздуха из каверны. Однако экспериментальные данные, представленные в докладе, показывают, что это не так: каверна замыкается полностью до первого пика давления. Вопрос о поведении давления в каверне после замыкания остается открытым.

Афанасьев К.Е., Рейн Т.С. (Россия). Numerical simulation of the dam break problem by general natural element method

Представлен один из новых численных методов для решения задач со свободными границами и большими деформациями области течения – метод естественных соседей. Дано краткое описание метода для модели вязкой несжимаемой жидкости. Показаны результаты расчетов течения, возникающего при разрушении плотины. Кинематика течения сопоставлена с экспериментальными данными и получено хорошее соответствие результатов.

Colicchio G., Greco M. (Италия, Норвегия), *Miozzi M.* (Италия), *Lugni C.* (Италия, Норвегия). Experimental and numerical investigation of the water-entry and water-exit of a circular cylinder

Экспериментально и численно исследовано проникновение в воду и выход из воды недеформируемого легкого кругового цилиндра. Изучено поле скоростей в жидкости и эволюция гидродинамического давления на цилиндре в различных точках. Описана тонкая структура течения жидкости при входе и выходе цилиндра из жидкости. Показано хорошее совпадение экспериментальных и численных результатов, полученных методами сеточного счета при выделении точек сетки на границе вода–воздух.

Ерманюк Е.В., Гаврилов Н.В., Костомаха В.А. (Россия). Impact of a circular disk with flat, concave and convex bottom on shallow water

Экспериментальным путем исследована задача об ударе диска с плоской, выпуклой и вогнутой нижней поверхностью о свободную поверхность мелкой воды. Показано, что во всех трех случаях имеет место захват воздушной каверны. В случае выпуклой нижней поверхности воздушная каверна с течением времени стягивается в центральный пузырь, причем зона вокруг пузыря засеяна мелкими пузырьками. При приближении к дну лотка имеет место интенсивная кавитация в зоне центрального пузыря и мелких периферийных пузырьков. Вследствие разрыва сплошности скорость приближения диска с выпуклой нижней поверхностью к дну оказывается конечной. В случае плоского и вогнутого дна скорость приближения диска к дну асимптотически стремится к нулю.

Kimmoun O., Scolan Y.-M. (Франция). Generation of focalized wave packet

Исследована возможность генерации поверхностных волн, которые ведут себя заданным образом при подходе к стенке. Необходимость генерации таких волн в экспериментальном лотке связана с проблемой возможного разрушения стенок бака при плескании в нем сжиженного газа. Требуется воспроизвести волны, которые дают наиболее опасные нагрузки на стенку с хорошей повторяемостью. В полном объеме такая проблема до сих пор не решена. Выполнено сравнение двух численных моделей, описывающих взаимодействие нелинейных волн со стенкой.

Lin F. (Канада), *Ge C.* (Великобритания), *Li E.* (Канада). Computation of sloshing loads by velocity potential analysis and CFD modeling

Известно, что расчеты плескания жидкости в баках танкеров должны выполняться с учетом нелинейных эффектов и вязкости жидкости. Однако такие расчеты требуют значительного времени и дорого стоят. Предлагается проверить точность расчетов, основанных на линейной теории плескания. При этом движение танкера на волнении и течение жидкости в баках вычисляются одновременно. Сопоставлены численные расчеты, полученные по линейной и нелинейной моделям, и экспериментальные значения гидродинамических нагрузок на стенку бака при различных частотах волн. Показано, что линейная модель дает заниженные результаты для продольной силы, но хорошо предсказывает вертикальную силу. Нелинейная модель хорошо описывает продольную силу, но почти в два раза завышает вертикальную компоненту силы. Последнее связывается с недостаточно малым размером ячеек сетки.

Oh S.H., Kwon S.H., Chung J.Y. (Корея). A close look at air pocket evolution in flat impact

С помощью скоростной видеосъемки исследована эволюция захваченной воздушной каверны под днищем прямоугольного блока, падающего на свободную поверхность. Выделены три стадии эволюции: 1) формирование мелкомасштабных возмущений на свободной поверхности перед ударом под действием высокоскоростного воздушного потока, формирующегося между днищем блока и свободной поверхностью; 2) контакт тела с возмущенной свободной поверхностью, характеризующийся появлением центрального пузыря и множества мелких пузырьков по периферии области контакта; 3) распад воздушной каверны.

Xu G.D., Duan W.Y. (КНР), *Wu, G.X.* (Великобритания, КНР). Time domain simulation of water entry of twin wedges through free fall motion

Численно исследована проблема свободного падения двойного клина на свободную поверхность жидкости. Используются растянутые по отношению к глубине погружения координаты. Приведены алгоритм расчета и распределения давления по щекам клина.

Yoon B.S., Semenov Y.A. (Южная Корея). Flow separation at the initial stage of the oblique water entry of a wedge

Для наклонного входа клина в воду выведены условия, при которых отрыв свободной границы жидкости начинается в вершине клина. Показано, что это имеет место в том случае, когда давление вдоль щеки клина меньше атмосферного давления и не имеет максимума, характерного для области образования струи.

Гидроупругость

Bennetts L.G. (Новая Зеландия), *Williams T.D.* (Великобритания), *Squire V.A.* (Новая Зеландия). An approximation to wave scattering by an ice polynya

В рамках линейной теории исследовано рассеяние периодических изгибно-гравитационных волн на ограниченном участке чистой воды произвольной формы. Для жидкости конечной глубины использовано разложение по вертикальным модам, и задача сведена к двумерным уравнениям Гельмгольца. Для различных форм полыньи определено поведение свободной поверхности и характеристики рассеянных изгибно-гравитационных волн в дальнем поле безграничного ледяного покрова.

Bonnefoy F. (Франция), *Meylan M.* (Новая Зеландия), *Ferrant P.* (Франция). Non-linear high-order spectral solution of a moving load on a floating ice sheet

Известно, что линейная задача о движении нагрузки по безграничному ледяному покрову с постоянной скоростью равной минимальной фазовой скорости изгибно-гравитационных волн предсказывает бесконечный рост прогиба льда в окрестности нагрузки. Показано, что с учетом нелинейной изгибной жесткости для ледяного покрова его прогиб остается конечным при критической скорости движения.

Farley F.J.M., Chaplin J.R., Heam G.E., Rainey R.C.T. (Великобритания). Persistent modes for water waves and a bulge tube in a narrow channel

Дан анализ основных проблем, связанных с конструированием устройств по извлечению энергии волн. Предложена конструкция устройства, состоящего из погруженной горизонтальной, ориентированной перпендикулярно фронту волны трубы с упругими стенками, в которой под действием генерируемого поверхностными волнами переменного давления индуцируется движение типа перистальтического. Концы трубы оборудованы цилиндрами с поршнями, позволяющими утилизировать энергию движения воды в трубе. Сформулированы общие подходы к разработке теории такого устройства.

Halbout S., Malleron N, Remy F., Scolan Y.-M. (Франция). Impact of inflated structures on a liquid free surface

Для моделирования аварийной посадки вертолета на воду проведен ряд экспериментов по падению упругой оболочки на воду. Исследовалось вертикальное погружение оболочки — ее скорость, размер области контакта, а также и формы, принимаемые оболочкой. Показано, что процесс удара упругой оболочкой существенно отличается от удара недеформируемой оболочкой. Изучен сложный процесс колебаний в нижней части оболочки. Измерено давление, возникающее в этой области при ударе, и показан его резко нестационарный характер.

Kim Y., Kim K.H., Kim Y.H. (Корея). Linear and nonlinear springing analyses in time domain using a fully coupled BEM-FEM

Выполнено численное исследование поведения упругого корабля на волнах. Вибрации корпуса судна вычисляются с помощью метода конечных элементов, а гидродинамические нагрузки — с помощью метода граничных элементов. Особенностью подхода является то, что нагрузки и вибрации рассчитываются одновременно. Сравниваются результаты расчетов с учетом и без учета связности гидродинамической задачи и задачи о вибрациях корпуса судна.

Malenica S., Molin B. (Франция), *Tuitman J.T.* (Нидерланды), *Bigot F.* (Франция), *Senjanovic I.* (Хорватия). Some aspects of hydrostatic restoring for elastic bodies

Рассмотрены различные способы получения коэффициентов матрицы гидростатических сил для упругого тела в линейном приближении. Показана эквивалентность формулировок Ньюмена и Молина. Сравнение с другими методами приводит к ряду противоречий: в частности, указано на

сложность сопоставлений с формулировками, использующими понятие внутренней геометрической упругости плавающего тела.

Meylan M.H. (Новая Зеландия), *Tomic M.* (Хорватия). Resonances and the approximation of wave forcing for elastic floating bodies

Предложен метод приближенного определения резонансных частот для упругого тела, плавающего на свободной поверхности жидкости. Метод основан на использовании значений коэффициентов присоединенной массы и демпфирования. Его эффективность продемонстрирована на примере плоской задачи для плавающей упругой балки. Предлагаемый метод может быть использован для исследования гидроупругих свойств больших контейнеровозов.

Peter M.A., Meylan M.H. (Новая Зеландия). Water-wave scattering by vast fields of bodies such as ice floes in the Marginal Ice Zone

Рассмотрена задача дифракции поверхностных волн в приграничной зоне сплошного ледяного покрова, которая состоит из отдельных льдин. Использован метод группировки отдельных льдин в модули. Для каждого модуля сначала решается задача нахождения дифракционного оператора, а затем рассматривается задача дифракции волн периодическими рядами модулей. При построении численного примера использовано осреднение по большому количеству расчетов со случайной вариацией периодичности. Показано, что такой прием позволяет получить наблюдаемое в экспериментах экспоненциальное затухание энергии волн, распространяющихся в зоне плавающих льдин, и избежать появления резонансов, возникающих в задачах дифракции на строго периодических системах плавающих тел.

Стурова И.В. (Россия). Nonlinear hydroelasticity of a plate floating on shallow water of variable depth

В рамках теории мелкой воды исследовано поведение свободной плавающей на поверхности жидкости тонкой упругой пластины в виде полосы постоянной ширины и бесконечной длины. Нестационарное поведение пластины вызвано набеганием на нее уединенной волны. Используя спектральный метод, выполнено сопоставление двух нелинейных моделей: классической модели мелкой воды и модели Буссинеска. Изгибные колебания пластины описываются линейным уравнением балки Эйлера. Исследовано влияние различных донных неровностей на поведение жидкости и пластины.

Ten I. (Франция), *Коробкин А.А.* (Великобритания, Россия). Interaction of elastic structure with non-uniformly aerated fluid

Исследован удар крутой волной по упругой стенке с учетом аэрации жидкости в области удара. Концентрация воздуха в газо-жидкостной смеси предполагается известной функцией пространственных координат. Задача гидроупругости решается в рамках модели слабо сжимаемой жидкости в области, заполненной аэрированной жидкостью, и модели несжимаемой жидкости в основной области течения. Показано, что при особых законах распределения воздуха в жидкости напряжения и прогибы упругой стенки могут превышать соответствующие значения для жидкости без учета ее перемешивания с воздухом.

Хабахнашева Т.И. (Россия), *Коробкин А.А.* (Великобритания, Россия). Compressible jet impact on corrugated plate

Рассмотрена начальная стадия удара струей сжимаемой жидкости по упругой пластине с перпендикулярными к ее поверхности ребрами. Исследован случай захвата воздуха между ребрами пластины, в результате чего образуется область аэрированной жидкости. Показано, что образование такой области приводит к увеличению высокочастотных колебаний пластины при ударе и возможному возрастанию напряжения в пластине. При специальных условиях аэрации наблюдается особое «резонансное» поведение пластины, при котором ее прогиб и период колебаний существенно возрастают.

Стратифицированные течения

Булатов В.В., Владимиров Ю.В. (Россия). Non-harmonic internal gravity wave packets in stratified media

Проведено исследование распространения пакетов внутренних волн в стратифицированной жидкости с медленно меняющимися в горизонтальном направлении характеристиками (например, при

наличии переменной топографии дна). С помощью модифицированных методов геометрической оптики получено решение в виде рядов по малому параметру, представляющему отношение длины волны к характерному горизонтальному масштабу неоднородностей. С использованием асимптотического представления волн в дальнем поле построена равномерная асимптотика внутренних волн в среде с медленно меняющимися характеристиками. Решение параметризовано в терминах волн Эйри и Френеля.

Grue J. (Норвегия). Modifications to the interfacial wave field moving over variable bottom topography in three dimensions

Рассмотрено влияние неровности дна на дисперсионное соотношение для внутренних волн в многослойной жидкости. Решение ищется методом Фурье. Показано, что эффект неровности дна, заданной случайной функцией с нулевым средним значением, состоит в уменьшении «эффективной» общей глубины жидкости. Получено дисперсионное соотношение, в которое входит величина стандартного отклонения функции, описывающей неровность дна.

Teng B., Gou Y. (КНР). A time-domain model of internal wave diffraction from a 3D body in a two-layer fluid

Рассмотрена задача дифракции внутренних и поверхностных волн на круговом цилиндре, плавающем на поверхности двухслойной идеальной жидкости ограниченной глубины. Решение интегральных уравнений в верхнем и нижнем слоях приводит к системе линейных уравнений для расчета зависимостей гидродинамических характеристик от времени. Показано хорошее соответствие результатов тестовых расчетов с аналитическим решением.

Voisin B. (Франция). Added mass for wave motion in density-stratified fluids

Исследована задача о присоединенных массах тела, колеблющегося в однородно стратифицированной безграничной жидкости. Получена связь между формулировками для присоединенной массы, входящими в выражения как для давления и энергии, так и для импульса и дипольной мощности. Выведены аналитические выражения для присоединенных масс сферы и кругового цилиндра. Полученные результаты могут быть использованы для оценки мощности излучения внутренних волн колеблющимся телом, решения задачи о затухающих колебаниях тела и оценки характеристик внутренних волн.

Труды всех конференций, а также информацию о прошедших и будущих конференциях можно найти по адресу www.iwwwfb.org.

Приглашаем российских специалистов к активному участию в работе следующих международных конференций по волнам на воде и плавающим телам.