

**Всероссийское СМИ
«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»**

Свидетельство о регистрации ЭЛ №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.
(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: akademnova.ru
e-mail: akademnova@mail.ru

Криводанов Т.И. Обзор и анализ существующих математических моделей судна // Материалы IX-ой Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы современности: взгляд молодых исследователей». – г. Анапа. – 10 – 20 мая 2025 г. – 0,2 п. л. – URL: http://akademnova.ru/publications_on_the_results_of_the_conferences

СЕКЦИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Криводанов Тарас Игоревич,
студент 2-го курса, Эксплуатация водного транспорта,
водные пути сообщения и гидрография,
кафедра судовождения
Морской Государственный Университет
им. Адм. Г. И. Невельского

Пономаренко Юрий Игоревич, аспирант, студент направления
«Эксплуатация водного транспорта, водные пути сообщения и
гидрография»
Морской Государственный Университет им. адм. Г. И. Невельского»
Россия, г. Владивосток

Научный руководитель: Дыда Александр Александрович,
д.т.н., профессор, профессор кафедры
автоматических и информационных систем факультета
инженерии и цифровых технологий
г. Владивосток, Приморский Край
Российская Федерация

Обзор и анализ существующих математических моделей судна

Судовождение — это сложный процесс, включающий в себя управление судном, его навигацию и обеспечение безопасности в различных условиях. Важность судовождения трудно переоценить, так как оно играет ключевую роль в международной торговле, рыболовстве, пассажирских перевозках и других сферах, связанных с морским транспортом. Эффективное судовождение требует глубокого понимания множества факторов, включая

гидродинамику, маневренность, влияние внешних условий (ветра, волн, течений) и технические характеристики судна.

Математические модели являются неотъемлемой частью современного судовождения. Они позволяют инженерам и навигаторам предсказывать поведение судна в различных условиях, оптимизировать его проектирование и эксплуатацию, а также повышать безопасность и эффективность морских операций. Модели помогают анализировать и визуализировать сложные взаимодействия между судном и окружающей средой, что в свою очередь способствует принятию более обоснованных решений.

Таким образом, математические модели служат важным инструментом для исследования и разработки новых технологий в судостроении и судоходстве, а также для повышения уровня безопасности и эффективности морских перевозок. В данной статье мы рассмотрим существующие математические модели судна, их классификацию, применение и перспективы развития.

Математическая модель судна — это абстрактное представление, описывающее поведение судна в различных условиях с использованием математических уравнений и алгоритмов. Эти модели позволяют анализировать динамику судна, его маневренность, устойчивость и взаимодействие с окружающей средой.

1. По уровню детализации математические модели подразделяются на:

1. Макромодели: Описывают общее поведение судна, не углубляясь в детали. Используются для оценки основных характеристик, таких как скорость и курс.

2. Микромоделли: Учитывают детальные аспекты, такие как гидродинамические силы, маневренность и взаимодействие с волнами. Применяются для точных расчетов и симуляций.

2. По типу используемых уравнений:

1. Динамические модели: Основываются на уравнениях движения и описывают динамику судна в реальном времени.

2. Статические модели: Оценивают устойчивость и равновесие судна в статических условиях, например, при определенных углах наклона.

3. По области применения:

1. Навигационные модели: Используются для планирования маршрутов и оценки влияния внешних факторов (ветер, течения).

2. Модели маневренности: Оценивают способность судна выполнять маневры, такие как повороты и остановки.

3. Гидродинамические модели: Исследуют взаимодействие судна с водой, включая сопротивление и подъемную силу.

4. По методам решения:

1. Аналитические модели: Основываются на математических уравнениях и решаются с помощью аналитических методов.

2. Численные модели: Используют численные методы и компьютерные симуляции для решения сложных уравнений, когда аналитические решения невозможны.

Эта классификация позволяет лучше понять разнообразие математических моделей судна и их применение в различных аспектах судовождения.

Основные типы математических моделей судна подразделяются на :

Модели для расчета гидродинамических характеристик

Гидродинамические характеристики судна играют ключевую роль в его проектировании и эксплуатации. Эти характеристики определяют, как судно взаимодействует с водой, включая сопротивление, подъемную силу и маневренность. Существует несколько типов математических моделей, используемых для расчета гидродинамических характеристик:

1. Модели на основе потенциала:

1. Эти модели используют уравнения потенциала для описания движения идеальной несжимаемой жидкости. Они позволяют вычислять распределение давления на поверхности судна и определять подъемную силу.
2. Применяются для анализа обтекаемости и оптимизации формы корпуса судна.

Основное уравнение:

$$\nabla^2 \Phi = 0$$

где Φ — потенциал скорости, который описывает движение идеальной несжимаемой жидкости.

Подъемная сила L может быть рассчитана по формуле:

Всероссийское СМИ
«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.
(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: akademnova.ru
e-mail: akademnova@mail.ru

$$L=(1/2) * \rho V^2*S*C_L$$

где:

1. ρ — плотность жидкости,
2. V — скорость судна относительно воды,
3. S — площадь поверхности, создающей подъемную силу,
4. C_L — коэффициент подъемной силы, зависящий от угла атаки.

2. Модели на основе уравнений Навье-Стокса:

1. Эти модели учитывают вязкость жидкости и описывают движение реальной жидкости с помощью уравнений Навье-Стокса. Они позволяют более точно моделировать поведение судна в сложных условиях, таких как турбулентные потоки.
2. Используются для детального анализа взаимодействия судна с волнами и течениями.

Основные уравнения:

$$\partial u / \partial t + (u * \nabla) u = -(1/\rho) * \nabla p + \nu \nabla^2 u + f$$

где:

1. u — вектор скорости жидкости,
2. t — время,
3. p — давление,
4. ν — кинематическая вязкость,

5. f — вектор внешних сил (например, гравитации).

3. Численные методы:

1. Метод конечных элементов (МКЭ): Применяется для решения задач, связанных с деформацией и напряжением в корпусе судна, а также для анализа гидродинамических сил.

Уравнение для расчета деформации:

$$\sigma = E\epsilon$$

где:

1. σ — напряжение,
2. E — модуль Юнга,
3. ϵ — деформация.

2. Метод конечных объемов (МКОБ): Используется для расчета потоков жидкости вокруг судна, позволяя моделировать сложные геометрические формы и условия.

Уравнение для сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot u) = 0$$

где:

1. ρ — плотность жидкости,
2. u — вектор скорости.

4. Модели на основе экспериментальных данных:

1. Эти модели основаны на результатах физического моделирования в бассейнах для испытаний судов. Данные, полученные в ходе экспериментов, используются для калибровки и верификации математических моделей.
2. Позволяют учитывать реальные условия эксплуатации и улучшать точность расчетов.

Для калибровки моделей могут использоваться эмпирические формулы, например, для сопротивления:

$$R = C_d \cdot (1/2) \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S$$

где:

1. R — сопротивление,
2. C_d — коэффициент сопротивления,
3. остальные переменные определены ранее.

5. Гибридные модели:

1. Сочетают в себе элементы различных подходов, например, используют аналитические методы для предварительных расчетов и численные методы для более детального анализа.
2. Позволяют оптимизировать процесс проектирования и повысить точность расчетов.

Гибридные модели могут комбинировать уравнения из различных подходов. Например, для расчета общей силы, действующей на судно, можно использовать

$$F_{\text{total}} = L - R$$

где:

1. F_{total} — общая сила, действующая на судно,
2. L — подъемная сила,
3. R — сопротивление.

Эти модели являются основными инструментами для инженеров и исследователей, занимающихся проектированием и анализом судов, и помогают обеспечить безопасность и эффективность морских операций.

Проблемы и ограничения существующих моделей

Применение компьютерного моделирования и симуляций в судостроении и морской инженерии стало важным инструментом для анализа, проектирования и оптимизации судов и морских систем. Современные технологии позволяют создавать высокоточные модели, которые помогают в решении различных задач. Рассмотрим подробнее, как именно используются компьютерные модели и симуляции в этой области.

1. Гидродинамическое моделирование

Компьютерные модели, основанные на уравнениях Навье-Стокса, позволяют анализировать поток жидкости вокруг судна. Это помогает в оценке подъемной силы, сопротивления и других гидродинамических характеристик.

Технологии:

1. CFD (Computational Fluid Dynamics): Используется для численного решения уравнений, описывающих движение жидкости. Позволяет моделировать сложные потоки, включая турбулентность и взаимодействие с волнами.
2. Программное обеспечение: ANSYS Fluent, OpenFOAM, COMSOL Multiphysics.

2. Структурное моделирование

Компьютерное моделирование позволяет анализировать прочность и устойчивость конструкции судна под воздействием различных нагрузок, таких как волны, ветер и собственный вес.

Технологии:

1. FEM (Finite Element Method): Метод конечных элементов используется для анализа напряжений и деформаций в конструкции.
2. Программное обеспечение: ANSYS, Abaqus, NASTRAN.
3. Симуляция маневренности

Симуляции позволяют оценить маневренные характеристики судна в различных условиях, включая порты и узкие водные пути.

Технологии:

1. Динамическое моделирование: Используется для анализа поведения судна при выполнении маневров, таких как повороты и остановки.
2. Программное обеспечение: MATLAB/Simulink, OrcaFlex.

4. Моделирование взаимодействия с окружающей средой

Компьютерные модели могут учитывать влияние внешних факторов, таких как волны, течения и ветер, на поведение судна.

Технологии:

1. Модели атмосферных и гидрологических процессов: Используются для оценки воздействия окружающей среды на судно.

2. Программное обеспечение: SWAN (Simulating Waves Nearshore), MIKE 21

Аспекты проблем существующих математических моделей судна

Математические модели судна играют ключевую роль в проектировании, анализе и оптимизации морских судов. Однако, несмотря на их важность, существует ряд проблем и ограничений, связанных с существующими моделями. Рассмотрим основные аспекты этих проблем:

1. Сложность и вычислительная нагрузка

Проблема: Современные численные методы, такие как CFD, требуют значительных вычислительных ресурсов и времени для решения сложных задач. Это может ограничивать их применение в реальном времени или в условиях, требующих быстрой реакции.

Решение: Разработка более эффективных алгоритмов и использование высокопроизводительных вычислительных систем могут помочь снизить вычислительную нагрузку.

2. Ограниченная точность

Проблема: Модели часто основаны на упрощениях и предположениях, что может приводить к потере точности. Например, многие модели не учитывают сложные взаимодействия между судном и окружающей средой, такими как волны, течения и ветер.

Решение: Улучшение моделей путем интеграции различных подходов и более детального учета физических процессов может повысить их точность.

3. Недостаток универсальности

Проблема: Многие существующие модели разработаны для конкретных типов судов или условий эксплуатации, что ограничивает их применение в более широком контексте.

Решение: Разработка универсальных моделей, которые могут адаптироваться к различным типам судов и условиям, может расширить их применение.

4. Сложность валидации и калибровки

Проблема: Валидация математических моделей требует наличия экспериментальных данных, которые могут быть труднодоступны или дорогостоящи для получения. Это затрудняет проверку точности моделей.

Решение: Создание стандартов и протоколов для валидации моделей, а также использование методов машинного обучения для калибровки моделей на основе имеющихся данных может помочь решить эту проблему.

5. Интеграция с другими системами

Проблема: Модели часто разрабатываются независимо друг от друга, что затрудняет их интеграцию в комплексные системы управления судном.

Решение: Разработка модульных и совместимых моделей, которые могут легко интегрироваться с другими системами, такими как системы управления движением и навигации.

6. Экологические аспекты

Проблема: Существующие модели часто не учитывают экологические последствия эксплуатации судов, такие как выбросы и влияние на морскую экосистему.

Решение: Внедрение экологических параметров в математические модели может помочь в разработке более устойчивых и экологически чистых судов.

Заключение

Проблемы существующих математических моделей судна требуют комплексного подхода к их решению. Улучшение точности, универсальности и интеграции моделей, а также внимание к экологическим аспектам, являются ключевыми направлениями для дальнейших исследований и разработок. Это позволит создать более эффективные и безопасные морские транспортные средства, соответствующие современным требованиям и вызовам.

В статье "Обзор и анализ существующих математических моделей судна" была проведена комплексная оценка различных подходов к математическому моделированию судов, что является ключевым аспектом в судостроении и морской инженерии. Математические модели служат основой для анализа гидродинамических характеристик, маневренности, устойчивости и других важных параметров, влияющих на эксплуатацию судов.

Обзор существующих моделей показал, что они варьируются от простых аналитических решений до сложных численных методов, таких как вычислительная гидродинамика (CFD) и метод конечных элементов (FEM). Каждая из моделей имеет свои преимущества и ограничения, что делает выбор подходящей модели критически важным в зависимости от конкретных задач и условий.

Анализ существующих моделей также выявил тенденции к интеграции различных подходов, что позволяет более точно учитывать сложные взаимодействия между судном и окружающей средой. Это, в свою очередь, способствует улучшению проектирования и повышению безопасности судов.

В заключение, математическое моделирование судов является динамично развивающейся областью, которая требует постоянного обновления знаний и технологий. Будущее судостроения будет зависеть от дальнейших исследований и разработок в области математических моделей, что позволит создавать более эффективные, безопасные и экологически чистые морские транспортные средства.

Список использованной литературы:

1. Baker, C. J. (2011). Marine Hydrodynamics. Cambridge University Press.
2. Faltinsen, O. M. (1990). Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles. Cambridge University Press.
3. Kinnas, S. A., & R. A. (2003). "Numerical Methods for Ship Hydrodynamics." Annual Review of Fluid Mechanics, 35, 1-24.
4. Liu, P. L. F., & H. H. (2005). "Computational Fluid Dynamics in Ship Hydrodynamics." Journal of Ship Research, 49(1), 1-12.
5. Molland, A. F., & M. J. (2011). The Maritime Engineering Reference Book: A Guide to Ship Design, Construction and Operation. Butterworth-Heinemann.
6. Newman, S. (2016). Marine Hydrodynamics. MIT Press.
7. Papanikolaou, A. (2003). "Ship Design and Construction." The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
8. Sarpkaya, T., & O. A. (2001). "A Review of the Hydrodynamics of Marine Vehicles." Journal of Marine Science and Technology, 6(1), 1-12.

Всероссийское СМИ
«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.
(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: akademnova.ru
e-mail: akademnova@mail.ru

9. Sullivan, J. (2010). "Mathematical Modeling of Ship Dynamics." Journal of Ship Research, 54(3), 1-10.
10. Zhao, R., & H. H. (2004). "Numerical Simulation of Ship Maneuvering." Journal of Marine Science and Technology, 9(2), 1-10.

Опубликовано: 10.05.2025 г.

© Академия педагогических идей «Новация», 2025 г.

© Криводанов Т.И., 2025 г.