

КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРСКИХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

И. П. Бойчук, А. В. Гринек (Новороссийск)

Возможность осуществления перспективных разработок в сфере критических технологий вообще и в области создания морских мобильных систем – в частности, определяется достигнутым на данный момент уровнем развития проектного инструментария. Объективными предпосылками для появления новых методов проектирования беспилотных аппаратов различных классов служат:

- унификация методов расчета на основе детерминированных моделей, базирующихся на фундаментальных разделах механики и новых возможностях, предоставляемых информационными технологиями;
- стирание граней между задачами, традиционно ассоциированными с судостроением и описанием динамики движения;
- преимущества интегральных гидрогазодинамических схем и их неосвоенные перспективные возможности.

Решение ряда существующих проблем в области моделирования и управления морскими подвижными объектами предполагает комплексный подход, заключающийся в разработке методов аналитического, имитационного, численного моделирования нелинейных систем, функционирующих в смешанных средах, с физическими процессами разной природы, имеющими сложный дискретный и волновой характер внешних возмущений, а также различный временной порядок и масштаб. Комплексный метод моделирования обладает возможностью учитывать большее число определяющих параметров внутренних и внешних процессов управляемых подвижных морских объектов. При этом процессы, происходящие при функционировании морских подвижных объектов (МПО) во взаимодействии с забортными технологическими комплексами и комплексами вооружений, имеют различную физическую природу.

Комплексный метод включает в себя полный цикл разработки морских подвижных объектов. Сюда входят: разработка и использование регламента, позволяющего использовать отечественный и зарубежный опыт по созданию подвижных аппаратов; создание аналитических моделей разномасштабных частей и механизмов, описывающих внутренние и внешние процессы, их взаимосвязь и взаимовлияние; численное и имитационное моделирование внешних и внутренних процессов и движения аппаратов; создание способов и алгоритмов управления; визуальное моделирование динамики разрабатываемого подвижного объекта, верификация результатов численных исследований при помощи эксперимента.

Описание мехатронных систем и подвижных объектов происходит на основании мультительного компьютерного моделирования. Динамика мультительных систем описывается при помощи аппарата аналитической механики. Математическое описание модели МПО основывается на консервативной формезаписи системы уравнений пространственного течения в декартовых координатах, состоящей из уравнений законов сохранения массы, импульса (в проекциях на оси координат) и энергии – целом, и по отдельным видам.

Малоресурсный метод [1] численного моделирования движения тел в геометрических областях сложной формы позволяет моделировать движение твердых тел без многократного перестроения расчетной сетки и без использования подвижных сеток.

Используя аппарат тензорного исчисления и методов искусственного интеллекта (ИИ), производится оптимизация геометрии обтекаемой поверхности МПО.

Физический эксперимент достаточно привычен в инструментарии исследователя. Эксперимент позволяет как верифицировать результаты численных экспериментов, так и проверить математические модели. Так, в опытовом бассейне берегового учебно-тренажерного центра ГМУ им. адмирала Ф.Ф. Ушакова при помощи судового гидравлического крана для экспериментов с системой управления по спуску-подъему подводных аппаратов были получены данные о спусках-подъемах телеуправляемого необитаемого подводного аппарата, свидетельствующие о недостаточно эффективном подходе к моделированию данных процессов, основанных на отдельном рассмотрении подводного аппарата без влияния судна, и нуждающихся в полном описании и рассмотрении системы «судно - подводный аппарат» при построении моделей системы.

На базе аэрогидродинамической лаборатории кафедры «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» ГМУ им. адмирала Ф.Ф. Ушакова ведутся следующие работы в области физического и численного моделирования:

1. Разработка схем электрооборудования, автоматики и микроконтроллерных решений для измерительно-регистрирующей аппаратуры, используемой в экспериментальных методах аэрогидродинамических исследований (рис. 1). Например, для определения характера обтекания надводной части судна была собрана измерительно-регистрирующая система с использованием трубки Пито (рис.2, 3). Система позволяет получать величину скорости потока в любой точке рабочей области.

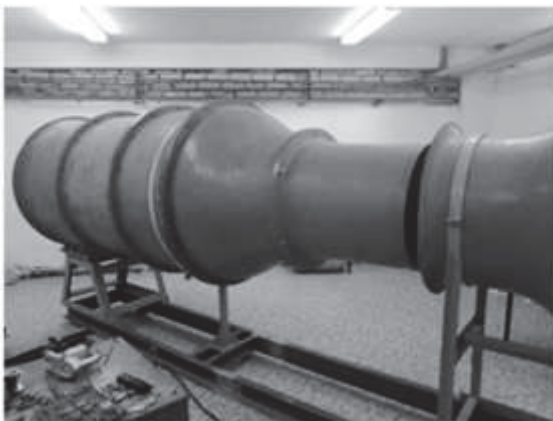


Рис. 1. Аэродинамическая труба

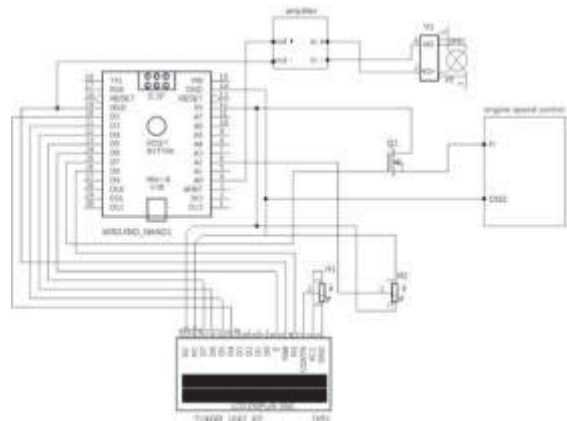


Рис. 2. Схема включения измерительной аппаратуры

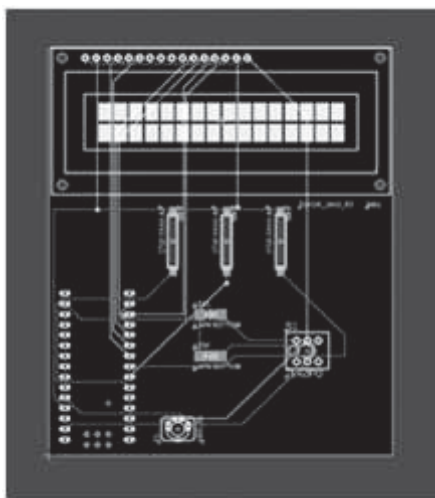


Рис. 3. Печатная плата

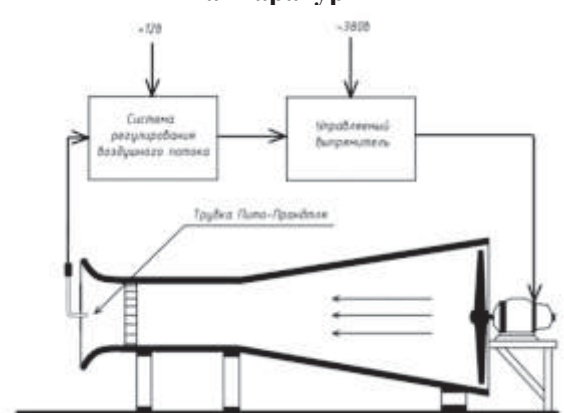


Рис. 4. Устройство для регулирования потока воздуха в аэродинамической трубе

Значительная часть технических решений при создании лаборатории реализована учащимися. Так, например, в рамках данной работы курсантами было разработано и использовано оригинальное устройство для ручного и автоматического регулирования потока воздуха в аэродинамической трубе (рис. 4)

2. Геометрическая оптимизация движителей судов, их последующее прототипирование. А именно, разработан ряд элементов сквозного проектирования винтов, начиная от расчета геометрии поверхности (рис. 5) и заканчивая технологией производства (рис. 6). Решены вопросы технологического обеспечения точности механической обработки на основе имитационных моделей напряженно-деформированного состояния [2].

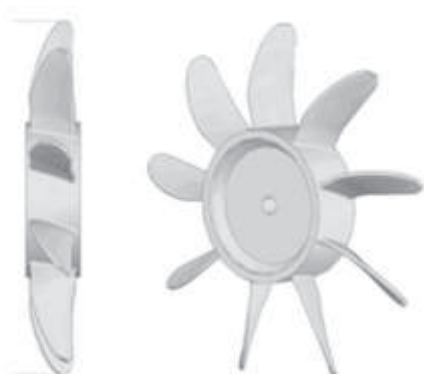


Рис. 5. Трехмерная модель винта



Рис. 6. Процесс печати опытной модели

Предложена «сквозная» схема моделирования технологических объектов – винтов с использованием решения ряда задач, описывающих связи: геометрии поверхности с режимом функционирования винтов; силового состояния зоны резания с технологическими режимами; технологической погрешности с условиями обработки.

3. Имитационное моделирование движителей в смешанной среде

На рис. 7 представлен пример численного моделирование динамики четырехлопастного винта, полученного на основании разработанного метода [3] при помощи авторского расчетного пакета программ.



Рис. 7. Динамика изоповерхности завихренности

4. Практические и теоретические исследования динамики судна [4].

На основании экспериментальных исследований (рис. 8, 9) определены поле скоростей и линии тока надводной части судна, силовые факторы воздействия ветра.

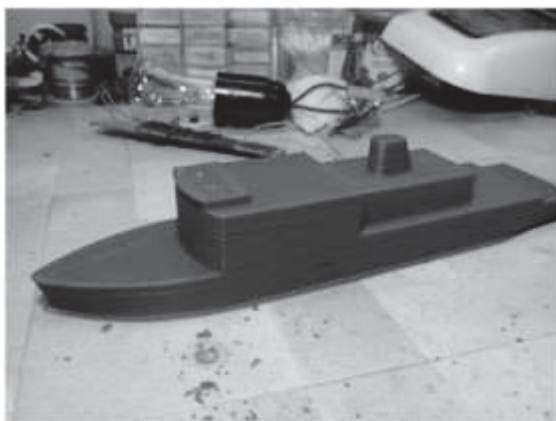


Рис. 8. Твердотельная модель

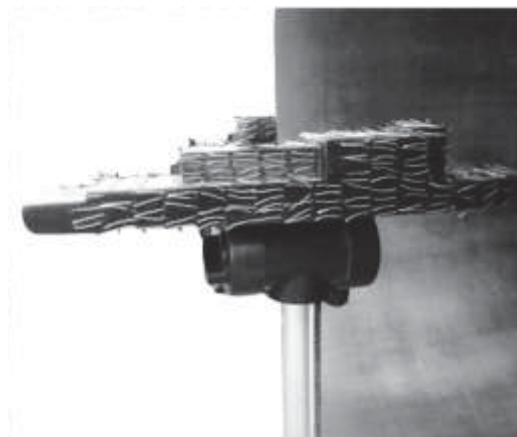


Рис. 9. Исследование динамики надводной части судна

В заключении следует отметить, что комплекс разработанных моделей, методов и алгоритмов оценки функционирования и управления морскими транспортно-технологическими системами обеспечивают новый качественный уровень их проектирования и эксплуатации.

Литература

1. **Амброжевич А.В., Бойчук И.П., Ларьков С.Н., Серeda В.А.** Малоресурсный метод численного моделирования течений в геометрических областях сложной формы // *Авиационно- космическая техника и технология*, Вып. 6, 2008. С. 5-10.
2. **Grinyok A., Boychuk I., Perelygin D., Dantsevich I.** Simulation in production of open rotor propellers: from optimal surface geometry to automated control of mechanical treatment // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 327 (2018) 022038 doi:10.1088/1757-899X/327/2/022038.
3. **Boychuk I.P., Grinek A.V., Dantsevich I.M.** Modified method of calculation of the flows in areas with moving boundaries // *Proceedings of the 2018 IEEE Northwest Russia Conference on Mathematical Methods in Engineering and Technology (MMET NW)*. 10-14 September, 2018. St. Petersburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, pp.19-21.
4. **Бойчук И.П.** Комплексное аэродинамическое моделирование транспортных систем с двигателями прямой реакции: монография / И. П. Бойчук. — Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 230 с.