

УДК 629.12

ARTICLE HISTORY

Received 29.10.2021

Accepted 10.11.2021

Зайцев В.В.¹, Зайцев Вал.В.², Зайцев Д.В.³, Лукашова В.В.⁴
Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова
zv1949@gmail.com¹, zvalv1974@gmail.com²,
zdmv11982@gmail.com³, viptory2010@gmail.com⁴

Прогнозирование динамики и мореходных качеств амфибийных судов на воздушной подушке

V. Zaytsev¹, Val. Zaytsev², D. Zaytsev³, V. Lukashova⁴
National University of Shipbuilding named after Adm. Makarov
zv1949@gmail.com¹, zvalv1974@gmail.com²,
zdmv11982@gmail.com³, viptory2010@gmail.com⁴

Predicting the dynamics and seaworthiness of hovercraft

Резюме – Представлена методика создания симуляций амфибийных судов на воздушной подушке (СВПА) для различных режимов их эксплуатации и исследования мореходных качеств. Рассмотрены различные типы симуляций таких судов и пути их воплощения в функционирующее программное обеспечение. Особое внимание уделено описанию созданию интерактивной симуляции в режиме реального времени. Представленный комплекс математических моделей, воплощённый в программу, позволяет углублённо анализировать динамику и мореходные качества СВПА до завершения их проектирования и до начала постройки.

Abstract – Methodology presented for creating simulations of hovercraft for various modes of their operation and studies of seaworthiness. Various types of simulations of such ships and the ways of their implementation into functioning software are considered. Particular attention is paid to describing how to create an interactive simulation in real time. The described complex of mathematical models, embodied in the software, allows an in-depth analysis of the dynamics and seaworthiness of hovercraft before the completion of their design and before the start of construction.

DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-22-32

Несмотря на то, что амфибийные суда на воздушной подушке применяются уже не одно десятилетие и существует большое количество литературы, которая рассматривает вопросы теории и практики проектирования таких судов, до сих пор существует ряд нерешенных проблем, связанных с этими судами. Существуют различные методики, теории и публикации [1 – 7], которые позволяют рассчитывать и проектировать различные комплексы, а также системы СВПА, и в итоге, создавать успешные в эксплуатации с хорошими мореходными качествами суда. Но при этом до сих пор основной проблемой остается достижение достаточной точности прогнозирования мореходных качеств СВПА при различных их режимах эксплуатации. Поэтому нередки случаи, когда успешный проект СВПА рождается после ряда неудачных проб и ошибок.

Отчасти эту же проблема до сих пор держат Правила постройки СВПА, изложенные в документах классификационных обществ, в сумбурном и противоречивом состоянии. В некоторых случаях классификационное общество для принятия проекта видит в качестве решения проблемы создание одного-двух работающих прототипов.

Такая ситуация привела к тому, что создание проектов СВПА является очень дорогой процедурой, а появление новых судов этого типа и их эволюция происходят очень медленными темпами.

В связи с этим, целью исследования является анализ основных математических моделей и пути объединения их в единый комплекс, который позволит в процессе интерактивной симуляции прогнозировать с высокой точностью динамику, мореходные качества и эксплуатационные характеристики различных СВПА.

Симуляцию СВПА можно создавать с различной точностью, и в первую очередь, на точность влияет количество степеней свободы, которое учитывается в этом случае. Наиболее сложными, но единственно подходящими для реальных практических задач, являются симуляции СВПА с шестью степенями свободы.

Такие симуляции могут быть разного типа, например: чисто расчётные; интерактивные; интерактивные с симуляцией в режиме реального времени.

Интерактивные с симуляцией в режиме реального времени – самые эффективные, поэтому их рекомендуется применять для поставленных целей. В этом случае задача исследования – создание программы симуляции СВПА с шестью степенями свободы.

Среди базовых требований к такой симуляции есть такие: компилируемый язык программирования, например, C++ (это необходимо для высокой скорости работы программы); программа

должна быть интерактивной и должна иметь графический интерфейс; программа должна иметь возможность работать в реальном времени.

В соответствии с этими требованиями в качестве среды разработки можно выбрать Microsoft Visual Studio (язык Visual C++).

Для реализации возможности интерактивности, графического интерфейса и работы в реальном времени необходимо выбрать соответствующие основные библиотеки, например: **FreeGlut** – для реализации графики; **Armadillo** – для ускорения математических расчётов.

Кроме того, полезно встроить в программу возможность переключаться между режимом "реального времени" и "ускоренным режимом расчётов". Ускоренный режим расчётов полезен в процессе отладки алгоритмов программы.

Как и любой другой технический проект, программа симуляции создаётся в течение нескольких основных этапов: создание математических моделей; прототипирование программного обеспечения; непосредственное кодирование на компилируемом языке (например, **Visual C++**).

Первый этап – создание математических моделей является самым важным и самым трудоёмким. От того, какими будут математические модели, зависит качество результата симуляции.

При создании интерактивной симуляции с учётом режима реального времени задача значительно усложняется потому, что нужно не просто выполнять расчёт, а выполнить его в жёстко ограниченных временных рамках. Отсюда следует то, что в таких математических моделях должен быть найден разумный компромисс между точностью и скоростью расчёта.

Второй этап – прототипирование. Его удобно выполнять с помощью специализированного математического софта, например: **MathCAD**; **Maple**; **Wolfram Mathematica**; **SMath Studio**. Наиболее удобными являются математические пакеты **MathCAD** и **Wolfram Mathematica** в качестве инструмента прототипирования в связи с тем, что позволяют быстро и наглядно перевести алгоритмы и математические модели в вычисляемый вид. Эти особенности позволяют минимизировать возможное количество ошибок при создании программы-прототипа.

Во время третьего этапа – непосредственное кодирование - алгоритмы, написанные в **MathCAD** или **Wolfram Mathematica** и численные результаты расчётов служат эталоном в процессе программирования на языке **Visual C++**.

В процессе кодирования на языке **Visual C++** для ускорения расчётов полезно использовать одну из библиотек для научных расчётов. На сегодняшний день очень удобной и одновременно одной из самых быстрых является математическая библиотека под названием "Armadillo". Основные её преимущества: высокая скорость работы, синтаксис и возможности, которые подобны **MatLAB**.

Для реализации графического интерфейса и вывода на экран результатов расчёта в графическом виде можно применить библиотеку **FreeGLUT**, которая, конечно, не является единственным вариантом. Сегодня существует огромное количество графических библиотек, различных графических движков. Большой популярностью сегодня пользуется графический движок **Unreal Engine 4** и **Unity 3D**.

Для разработки математических моделей симуляции СВПА с шестью степенями свободы нужно обязательно создавать не просто математические модели, а комплекс математических моделей с установленными связями между ними.

Далее приведён перечень основных математических моделей, которые должен содержать комплекс.

Во-первых, это математические модели, которые описывают особенности конструкции СВПА, которые будут моделироваться: движительно-рулевой комплекс; подъёмный комплекс; гидродинамические математические модели; аэродинамические математические модели.

Во-вторых, это математические модели, которые описывают внешнюю среду, в которой будет моделироваться СВПА: ветер; воду; морское волнение; ландшафт.

В-третьих, это математическая модель твёрдого тела с шестью степенями свободы, которая является ядром всей симуляции.

В зависимости от того, какое СВПА планируется симулировать, будет различный набор математических моделей, которые описывают конструкцию СВПА. На рис. 1 и 2 показаны два различных СВПА.

Эти два судна отличаются не только размерами, но и своими конструктивными особенностями. Они состоят из различных наборов элементов, которые входят в движительно-рулевой комплекс. У СВПА "Pelican" есть подруливающие устройства, а у СВПА "ACV-20" таких устройств нет. Состав и конструкция их подъёмных комплексов тоже отличаются друг от друга.

Поэтому для создания математических моделей, которые описывают конструкцию СВПА, необходимо иметь основные конструктивные чертежи этого СВПА и основные 3D-модели. Для

разработки этих математических моделей нужны не только чертежи, но и четкое понимание того, как работают те или иные конструктивные элементы СВПА. Нужно знать их основные характеристики: геометрические размеры и взаимное расположение в пространстве.



Рис. 1. СВПА проекта Pelican

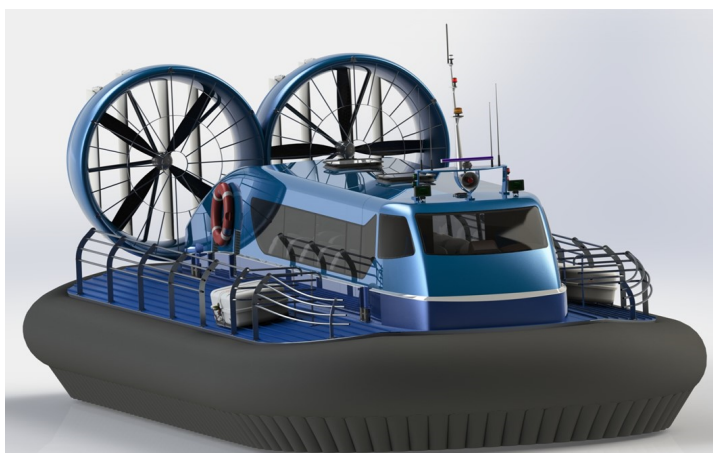


Рис. 2. СВПА проекта ACV-20

В качестве примера показана часть конструктивной информации, которая необходима для создания математических моделей, которые описывают конструкцию СВПА Pelican (рис. 3 ... 5).



Рис. 3. Конструкция гибкого ограждения СВПА проекта Pelican

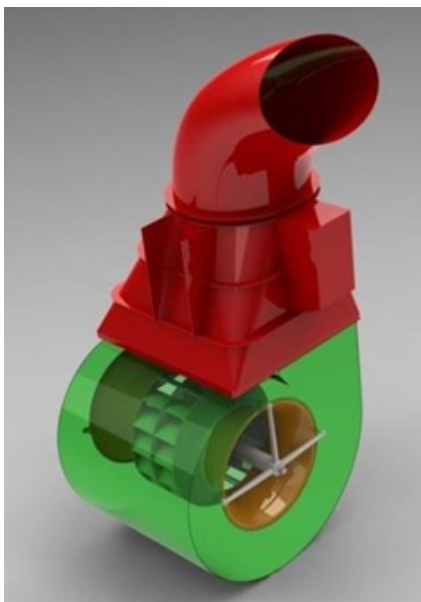


Рис. 4. Подруливающее устройство СВПА проекта Pelican

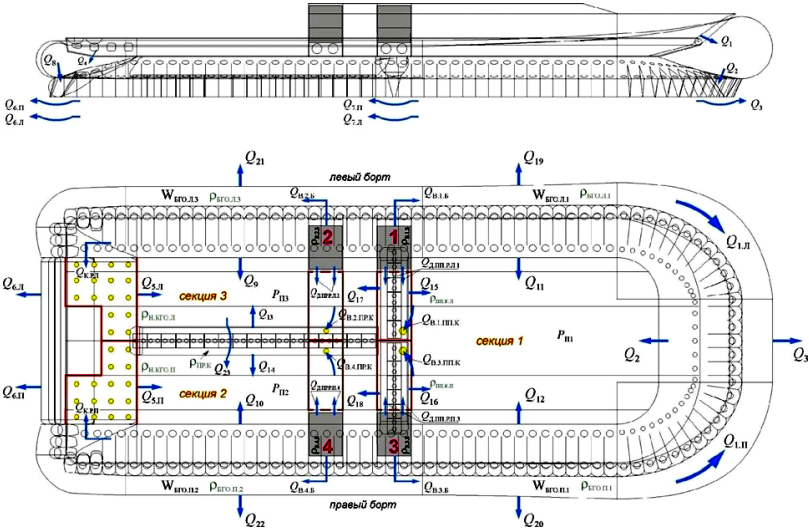


Рис. 5. Конструктивная схема подъёмного комплекса СВПА проекта Pelican

Принципиальные схемы некоторых математических моделей с указанием входных и выходящих параметров представлены на рис. 6, 7.

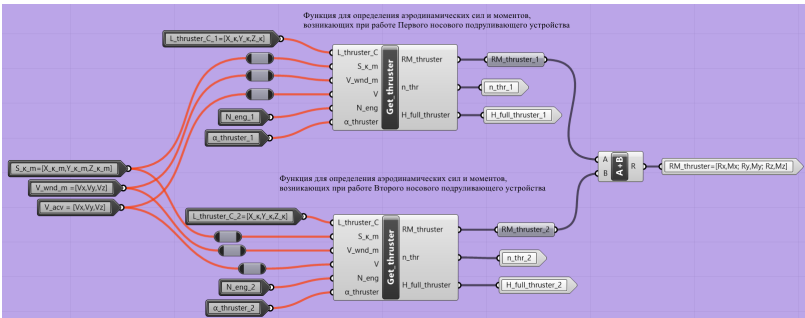


Рис. 6. Математические модели для определения аэродинамических сил и моментов, возникающих при работе носовых подруливающих устройств

На основе описанной выше методики создана программа для интерактивной симуляции в режиме реального времени (рис. 8) для СВПА проекта Pelican. Верификация результатов расчётов,

полученных с помощью этой программы, показала хорошую сходимость с результатами испытаний реального судна-прототипа.

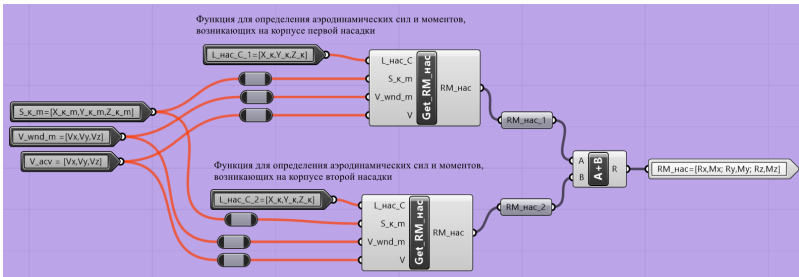


Рис. 7. Математические модели для определения аэродинамических сил и моментов, возникающих на корпусах насадок

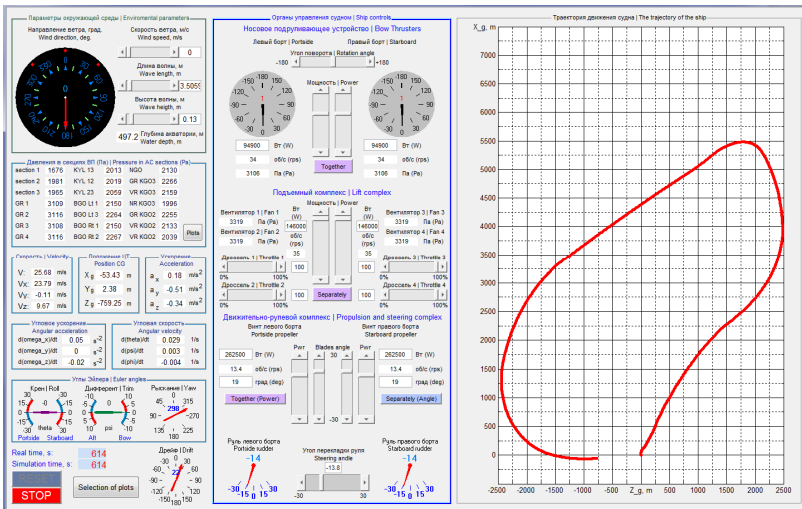


Рис. 8. Интерфейс программы имитационного моделирования движения СВПА с шестью степенями свободы

Описанная методика создания комплекса математических моделей позволяет с высокой точностью выполнять прогнозирование динамики СВПА и имитационное моделирование любых СВПА с шестью степенями свободы, что снизит расходы на проектирование и

постройку головного СВПА с точно предсказуемыми мореходными качествами и эксплуатационными характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА
REFERENCES

1. Зайцев Д.В. Исследование процесса затягивания носового гибкого ограждения без диафрагмы при эксплуатации судна на воздушной подушке на тихой воде / Зайцев Д.В., Зайцев В.В. // 36. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, –2008. – № 5 (422). – С. 37 – 41.

2. Зайцев Д.В. Расчёт гибкого ограждения с учётом его затягивания в режиме движения судна на воздушной подушке / Зайцев Д.В. // 36. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, –2006. – № 4 (409). – С. 32 – 40.

3. Колызаев Б.А. Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания / Колызаев Б.А., Косоруков А.И., Литвиненко В.А. – Л.: Судостроение, 1980. – 472 с.

4. Бенуа Ю.Ю. Основы теории судов на воздушной подушке / Ю.Ю. Бенуа, В.К. Дьяченко, Б.А. Колызаев, В.А. Литвиненко, И.В. Озимов, С.А. Смирнов. – Л.: Судостроение, 1970. – 456 с.

5. Зайцев Д.В., Зайцев В.В., Зайцев Вал. В. Математическая модель кормового рессорного гибкого ограждения СВПА // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої 95-річчю Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. – Миколаїв: НУК, 2015. – С. 291 – 293.

6. Dmytro Zaytsev, Volodymyr Zaytsev, Pentscho Pentshev. Design Methods of Small Hovercrafts // Black sea 2014: Twelfth international conference on marine sciences and technologies. – Varna, Bulgaria: Varna Scientific and Technical Unions. – 2014. – P. 107 – 108.

7. Зайцев В.В., Зайцев Вал. В., Лукашова В.В., Лысый А.А. Имитационное моделирование подъёмного комплекса судна на воздушной подушке скегового типа в режиме висения без хода // 36. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2015. – № 2 (458). – С. 12 – 16.

Анотація – Створення проектів амфібійних суден на повітряній подушці є дуже дорогою процедурою, а поява нових суден цього типу та їх еволюція відбуваються дуже повільними темпами. Незважаючи на те, що амфібійні судна на повітряній подушці застосовуються вже не одне десятиліття і існує велика кількість літератури, яка пов'язана з теорією таких суден та з практикою їх проектування,

досі існує низка невирішених проблем, пов'язаних із цими суднами. Існують різні методики, теорії та публікації, які дозволяють розраховувати та проектувати різні комплекси та системи амфібійних суден на повітряній подушці і в результаті це дозволяє створювати успішні в експлуатації судна. Але при цьому досі основною проблемою залишається досягнення достатньої точності прогнозування експлуатаційних характеристик амфібійних суден на повітряній подушці при різних режимах. Тому нерідкі випадки, коли успішний проект судна на повітряній подушці народжується після низки невдалих спроб та помилок.

У роботі описано методику створення симуляцій амфібійних суден на повітряній подушці для різних режимів їх експлуатації. Розглянуто різні типи симуляцій таких суден та шляхи їх втілення у програмне забезпечення. Описано основні математичні моделі, що беруть участь у реалізації таких симуляцій та показано їхню структуру для різних амфібійних суден на повітряній подушці. Описаний комплекс математичних моделей, втілений у програму, дозволяє поглиблено аналізувати динаміку та експлуатаційні характеристики амфібійних суден на повітряній подушці до завершення їх проектування та початку будівництва. Стверджується, що найбільш складними, але єдиними для реальних практичних завдань аналізу динаміки СППА є симуляція цього судна з 6-ма ступенями свободи.

Методика створення комплексу математичних моделей дозволяє з високою точністю виконувати прогнозування динаміки СППА та імітаційне моделювання будь-яких СППА з шістьма ступенями свободи, що знизить витрати на проектування та будівництво головного СППА з точно передбачуваними морехідними якостями та експлуатаційними характеристиками.

Annotation – The creation of hovercraft projects is a very expensive procedure, and the emergence of new ships of this type and their evolution is proceeding at a very slow pace. Despite the fact that hovercraft have been used for decades and there is a large amount of literature that is related to the theory of such ships and the practice of their design, there are still a number of unresolved problems associated with these ships. There are various methods, theories and publications that allow to calculate and design various complexes and systems of hovercraft, and as a result, this allows to create vessels that are successful in operation and with good seaworthiness. But at the same time, until now, the main problem remains to achieve sufficient accuracy in predicting the

operational characteristics of hovercraft under various modes. Therefore, it is not uncommon for a successful hovercraft project to be born after a series of unsuccessful trial and error.

The presented work describes a methodology for creating simulations of hovercraft for various modes of their operation. Various types of simulations of such ships and the ways of their implementation into functioning software are considered. The main mathematical models that are involved in the implementation of such simulations are described and their structure is shown for various hovercraft. The described complex of mathematical models, embodied in the program, allows an in-depth analysis of the dynamics and operational characteristics of hovercraft before the completion of their design and before the start of construction. It is argued that the most difficult, but suitable for real practical problems of analyzing the dynamics of hovercraft is the simulation of this ship with 6 degrees of freedom.

The study allows us to conclude that the described methodology for creating a complex of mathematical models makes it possible with high accuracy to predict the dynamics of hovercraft and simulate any hovercraft with 6 degrees of freedom, which will reduce the cost of designing and building a lead hovercraft with accurately predictable seaworthiness and operational characteristics.