

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. НТО ОАО «ГНИНГИ МО РФ» по НИР «Исследование по обоснованию развития технологии устройств робототехники ВМФ, используемой в интересах навигационно-гидрографического обеспечения». Этап 3, 2010.
2. Бочаров Л.Д. Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2009. – № 8. – С. 88-93.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.Х. Пшихопов.

Лазарев Евгений Сергеевич

46 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации в г. Москве.

E-mail: Lazareves@mail.ru.

129327, г. Москва, Чукотский проезд, 8.

Тел.: 84954713480.

Старший научный сотрудник.

Lazarev Evgeniy Sergeevich

46 Central Research Institutes Ministry of Defense to Russian Federation in Moscow.

E-mail: Lazareves@mail.ru.

8, Chukchi Journey, Moscow, 129327, Russia.

Phone: +74954713480.

Senior Scientist.

УДК 004.94

Р.В. Федоренко, Б.В. Гуренко

**КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЙ ПОДВИЖНЫХ
ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ ВОЗДУХОПЛАВАТЕЛЬНЫХ И ПОДВОДНЫХ
АППАРАТОВ**

Представлена структура комплекса моделирования движений подвижных объектов на базе воздухоплавательных и подводных аппаратов и рассмотрены ее элементы. Комплекс моделирования движений позволяет провести эксперименты без реального объекта управления. Рассмотрены программные средства для реализации комплекса моделирования и способы их использования. Подробно рассмотрены варианты реализации процедур численного моделирования, в том числе варианты задания уравнений математической модели подвижного объекта на т-языке, с помощью инструментов интерактивного моделирования и специализированных программ моделирования динамики на основе описания параметров модели. Также предложены варианты программных средств для визуализации движений подвижного объекта.

Моделирование; система управления; дирижабль; подводный аппарат.

R.V. Fedorenko, B.V. Gurenko

**AIRSHIP AND UNDERWATER VEHICLES BASED MOBILE OBJECTS
MOTION MODELLING COMPLEX**

The paper presents structure of airship and submarine motion simulator, designed to experiment without real control object. Software implementation issues are considered. The paper presents a framework for motions simulation of airship and submarine based vehicles, elements of this structure are considered. Motion simulator is intended for experimentation without real control object. Software tools for implementing of simulator are considered. Variants of implementing

of numerical simulation procedures includes: writing equations of the vehicle mathematical model with m-language, using interactive modeling tools, and specialized dynamics modeling programs based on the description of the model parameters. Software tools for visualizing of vehicle motion are also considered.

Simulation; control system; airship; submarine.

Введение. Комплекс моделирования движений роботизированных подвижных объектов на базе воздухоплавательных и подводных аппаратов – это набор программных средств для компьютерного моделирования подвижного объекта и внешней среды и визуализации полученных результатов.

Комплекс моделирования движений подвижных объектов на базе воздухоплавательных и подводных аппаратов предназначен прежде всего для использования в процессе конструирования системы управления (для изучения особенностей математической модели, проверки качества функционирования системы управления и ее отладки), проведения стендовых испытаний системы управления, обучения оператора системы управления [1, 2].

Важность этапа имитационного компьютерного моделирования при конструировании и исследовании систем управления подвижных объектов на базе воздухоплавательных и подводных аппаратов обуславливается сложностью проведения натуральных испытаний.

При построении программного комплекса моделирования движений подвижного объекта исходными данными являются:

- ◆ математическая модель подвижного объекта;
- ◆ данные о погрешностях датчиков положения, скорости, ускорения и т.д., модели шумов в каналах измерения и управления;
- ◆ математическая модель внешней среды;
- ◆ закон формирования управляющих воздействий, алгоритмы планирования перемещений, алгоритмы оценивания параметров и возмущений.

Структура комплекса моделирования. Структурными элементами комплекса моделирования движений подвижного объекта являются (рис. 1):

- ◆ модуль исходных данных;
- ◆ модуль численного моделирования;
- ◆ модуль результатов моделирования;
- ◆ графический интерфейс пользователя, в том числе средства настройки эксперимента, модуль трехмерной визуализации, модуль графиков;
- ◆ модуль анализа результатов эксперимента.

Назначением *модуля исходных данных* является группировка в единых структурах всех настроек эксперимента и параметров подвижного объекта. Объем и состав этих параметров уточняется в зависимости от реализации.

Данные настройки могут быть сформированы посредством графического интерфейса пользователя и представлены в виде конфигурационного файла. Как правило, конфигурационные файлы имеют текстовый формат и могут быть прочитаны и отредактированы пользователем. Известные форматы файлов конфигурации: XML, YAML, INI.

После определения настроек данные передаются в *модуль численного моделирования*, где выполняется цикл моделирования, в котором участвуют модель системы управления, модель подвижного объекта и модель среды.

Имитационная *модель подвижного объекта* включает в себя средства численного интегрирования уравнений кинематики и динамики, функции расчета сил и моментов, действующих на подвижный объект.

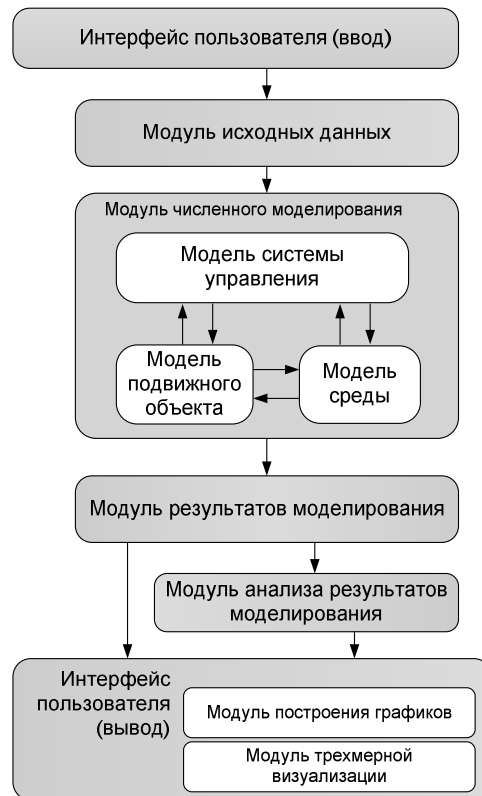


Рис. 1. Структура программного комплекса моделирования движения

Модель системы управления включает в себя реализацию алгоритма работы регулятора, реализующего заданный закон управления, модель планировщика, формирующего траекторию движения в соответствии с поставленным заданием, а также модель наблюдателя, оценивающего внутренние и внешние возмущения. На каждом шаге цикла моделирования система управления, на основе заданных параметров и текущего состояния дирижабля, рассчитывает управляющие воздействия, которые затем передаются в модель подвижного объекта.

Система управления может быть реализована аппаратно и подключаться к комплексу моделирования как к реальному подвижному объекту. Такой режим работы комплекса моделирования называют НПЛ-симуляцией (от Hardware-in-the-loop).

В **модель среды** входит расчет параметров атмосферы или водной среды на основе ее математического описания и координат подвижного объекта, а также функции внесения внешних возмущений для верификации системы управления.

Таким образом, модуль численного моделирования формирует вектор переменных, описывающих подвижный объект на каждом шаге моделирования. В него входят линейные и угловые координаты, линейные и угловые скорости и ускорения, управляющие воздействия, состояния системы управления, параметры внешней среды и др. Эти данные передаются в модуль результатов моделирования.

Модуль анализа результатов эксперимента включает различные функции оценки показателей работы системы на основе полученных данных, такие, как определение энергетических затрат в процессе полета, оценка показателей качества работы системы управления, отклонение от заданного маршрута, качество оценки возмущений и др.

По результатам эксперимента выполняется *построение графиков* изменения интересующих разработчика параметров. Для наглядного представления полетных данных и их изменения используется *модуль трехмерной визуализации движения*, функцией которого является построение модели движения с использованием средств виртуальной реальности по результатам либо непосредственно в ходе моделирования.

Средства *интерфейса пользователя* предоставляют возможности настройки параметров моделирования, наблюдения и управления процессом моделирования, наглядного представления полученных результатов.

Программные средства для реализации комплекса моделирования движений роботизированного дирижабля. Для реализации комплекса моделирования движений роботизированного дирижабля используются следующие программные средства:

- ◆ пакеты прикладных программ для технических вычислений;
- ◆ специализированные программы расчета динамики движения;
- ◆ симуляторы.

Наиболее популярным среди пакетов прикладных программ для технических вычислений является пакет программ MATLAB.

С использованием MATLAB возможна реализация всех элементов структуры, представленных на рис. 1. Рассмотрим построение модуля численного моделирования в MATLAB. Построение модели дирижабля в MATLAB возможно посредством записи уравнений кинематики и динамики подвижного объекта на m-языке, а также с помощью инструмента интерактивного моделирования MATLAB Simulink и наборов инструментов Aerospace Toolbox и Aerospace Blockset [3].

При программировании модели подвижного объекта на m-языке для реализации интегрирования его математических моделей, как правило, используются функции из набора ode. Функции ode23 и ode45 предназначены для численного интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений ОДУ [4].

На рис. 2 показана организация файлов при реализации модели дирижабля на m-языке с использованием функций ode. Файл `vehicle_main.m` включает задание параметров моделирования, вызов функции `ode45`, которой передается имя файла `vehicle_fun.m`, рассчитывающего правые части дифференциальных уравнений модели дирижабля. По результатам интегрирования строятся графики. В файле `vehicle_fun.m` на каждом шаге интегрирования происходит вызов функций планировщика, наблюдателей и регулятора.

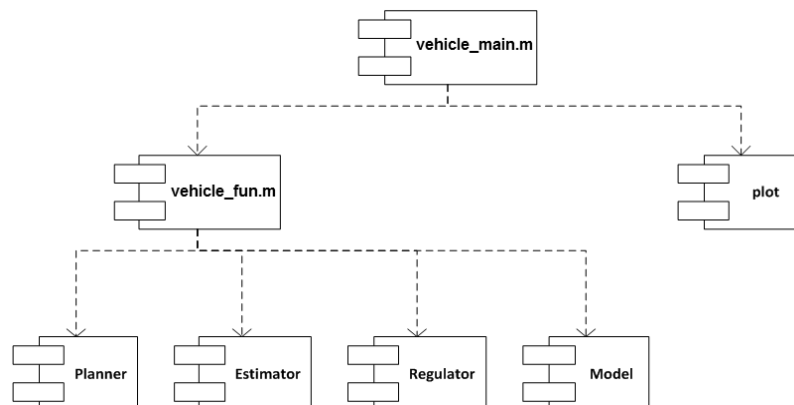


Рис. 2. Организация файлов при реализации модели дирижабля на m-языке с использованием функций ode

При реализации модели подвижного объекта, основанной на модели динамики твердого тела, возможно использование готовых компонентов набора инструментов Aerospace Toolbox и Aerospace Blockset.

С использованием этих средств имитационная модель подвижного объекта может строиться визуально во встроенном в MATLAB интерактивном инструменте для моделирования Simulink. Пример реализации модели дирижабля представлен на рис. 3.

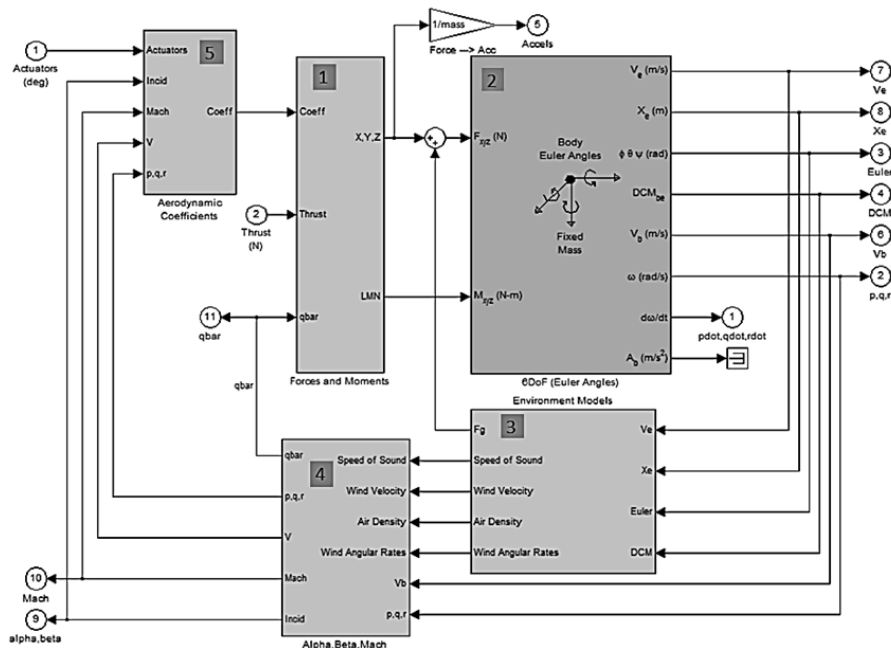


Рис. 3. Пример реализации модели динамики дирижабля и среды с использованием MATLAB Aerospace Blockset

На рис. 3 блок 2 реализует интегрирование математической модели подвижного объекта как твердого тела с шестью степенями свободы, блок 3 представляет собой модель среды и включает модели стандартной атмосферы, ветра и гравитации, в блоке 5 выполняется расчет аэродинамических коэффициентов, а в блоке 1 – расчет сил и моментов, действующих на дирижабль.

Альтернативным способом реализации модуля численного моделирования является использование специализированных программ расчета динамики подвижного объекта таких, как YASim и JSBSim.

Для создания модуля численного моделирования в JSBSim необходимо написать описывающий его конфигурационный файл в структурированном текстовом формате XML. Конфигурационный файл состоит из секций, описывающих [5]:

- ◆ служебную информацию о модели;
- ◆ геометрические размеры и смещения опорных точек;
- ◆ информацию о массе и моментах инерции подвижного объекта;
- ◆ координаты и свойства точек, которыми модель взаимодействует с поверхностью;
- ◆ информацию о двигателях и топливных баках;
- ◆ движение управляющих поверхностей и других движущихся частей подвижного объекта, влияющих на аэро- (гидро) динамику;
- ◆ описание автопилотов (если реализуются).

Отличие данного способа моделирования динамики подвижного объекта состоит в том, что не нужно явно задавать математические выражения, описывающие модель, необходимо только подробно описать аппарат в конфигурационном файле. JSBSim может быть интегрирован с симулятором FlightGear, математическим пакетом MATLAB, а также использоваться автономно.

Для визуализации процесса и результатов моделирования движения могут быть использованы средства трехмерного моделирования и виртуальной реальности.

Трехмерная визуализация движения подвижного объекта в процессе моделирования может быть реализована с использованием специализированных средств MATLAB Simulink 3D Animation, средств симуляторов (таких, как FlightGear и др.), а также в виде отдельного приложения с использованием различных графических движков. Для визуализации движения после моделирования, на основе накопленной истории изменения переменных состояния, возможно использование средств построения анимации в программном пакете Autodesk 3ds Max [2].

Для построения модуля трехмерной визуализации в MATLAB используется специализированный набор инструментов MATLAB Simulink 3D Animation. Simulink 3D Animation [6] – это пакет, решающий задачи управления виртуальными моделями динамических систем в функции времени. Для описания виртуальной модели используется язык VRML (англ. Virtual Reality Modeling Language – язык моделирования виртуальной реальности) – открытый стандарт формата файлов для демонстрации трёхмерной интерактивной векторной графики.

Пример внешнего вида окна представления виртуального мира приведен на рис. 4.

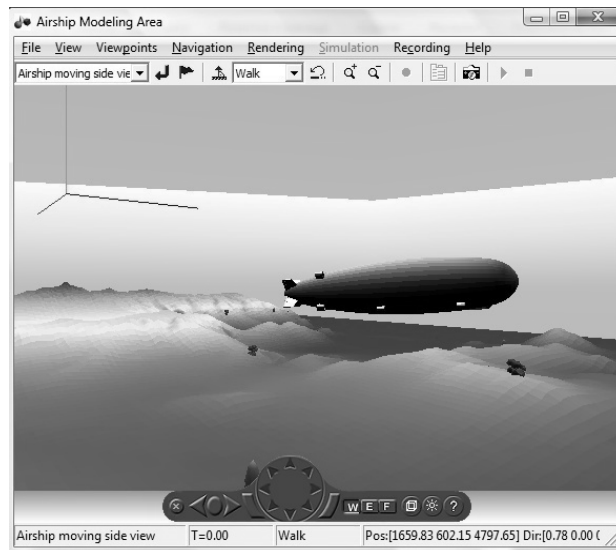


Рис. 4. Пример трехмерной визуализации в MATLAB Simulink 3D Animation

Задача визуального представления движения дирижабля при моделировании может быть решена при помощи авиасимуляторов таких, как FlightGear [7], X-Plane и др.

Особенностью организации взаимодействия модулей FlightGear является структура Property Tree – совокупность глобальных переменных, служащих для обмена информацией между различными частями программного комплекса FlightGear, структурированная наподобие файловой системы [8].

Таким образом, для реализации графического представления полета дирижабля с использованием авиасимулятора FlightGear необходимо импортировать трехмерную модель дирижабля, создать конфигурационные файлы, описывающие анимацию элементов модели, при необходимости создать модель кабины, описать используемый способ моделирования динамики. В симуляторе FlightGear уже реализованы графические представления окружающей среды, аэропортов, погодных условий и времени суток. На рис. 5 представлена визуальная модель дирижабля в симуляторе.

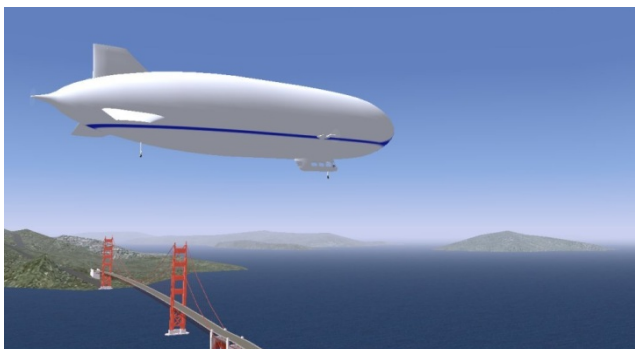


Рис. 5. Визуальная модель дирижабля в симуляторе FlightGear

Заключение. В работе представлена структура, проведен обзор программных средств и способов реализации комплекса моделирования движений подвижных объектов базе воздухоплавательных и подводных аппаратов. Программные средства моделирования движений подвижных объектов позволяют провести эксперименты без реального объекта управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю., Федоренко Р.В., Сиротенко М.Ю., Костюков В.А., Гуренко Б.В. Управление воздухоплавательными комплексами: теория и технологии проектирования. – М.: Физматлит, 2010. – 394 с.
2. Пшихопов В.Х. Сукошкин С.Я., Назучев Д.Ш., Стракович В.В., Медведев М.Ю., Гуренко Б.В., Костюков В.А., Волощенко Ю.П. Автономный подводный аппарат «СКАТ» для решения задач поиска и обнаружения затонувших объектов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 3 (104). – С. 153-163.
3. <http://www.mathworks.com/products/aerotb/>.
4. <http://matlab.exponenta.ru/>.
5. http://www.flightgear.ru/wiki/index.php/Основы_аэродинамики_JSBSim_для_авиасимулятора_FlightGear.
6. <http://www.mathworks.com/products/3d-animation/>.
7. <http://www.flightgear.org/>.
8. http://www.avsim.ru/wiki/Введение_в_моделирование_для_авиасимулятора_FlightGear.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Р.А. Нейдорф.

Федоренко Роман Викторович

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: frontwise@gmail.com.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371694.

Кафедра электротехники и мехатроники; аспирант.

Гуренко Борис Викторович

E-mail: boris.gurenko@gmail.com.

Кафедра электротехники и мехатроники; аспирант.

Fedorenko Roman Victorovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: frontwise@gmail.com.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371694.

The Department of Electrical Engineering and Mechatronics; Postgraduate Student.

Gurenko Boris Victorovich

E-mail: boris.gurenko@gmail.com.

The Department of Electrical Engineering and Mechatronics; Postgraduate Student.

УДК 534.6:629.113

С.С. Камышов

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ, ИЗЛУЧАЕМЫХ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Изложен новый метод диагностики автомобилей. Приведены примеры использования метода применительно к различным узлам и системам с целью определения их неисправностей. С помощью методики удается выявить неисправность узлов и агрегатов автомобиля, степень износа деталей, а также спрогнозировать наработку на отказ, не прибегая к разборке агрегата, что снижает ресурсозатратность диагностики и повышает экологичность автомобиля.

Вибродиагностика; обработка вибросигнала; диагностика автомобиля; вейвлет-преобразование; преобразование Фурье.

S.S. Kamyshov

RESEARCH OF ACOUSTIC SIGNALS EMITTED BY MOTOR TRANSPORT

Article is devoted a substantiation and presentation of a new method of diagnostics of cars. Examples of usage of a method with reference to various nodes and systems for the purpose of determination of their malfunctions are presented. By means of a technique it is possible to reveal malfunction of nodes and car aggregates, a level of deterioration of details and as to predict a time between failures without resorting to aggregate disassembling that reduces waste of time of diagnostics and raises ecological compatibility of the car.

Vibration diagnostics; treatment vibrate; car diagnostics; the wavelet transform; Fourier transform.

Введение. Экологические требования к современному автомобилю являются в настоящее время приоритетными. Экологическая безопасность – это свойство автомобиля снижать негативные последствия влияния эксплуатации автомобиля на участников движения и окружающую среду. Она направлена на снижение токсичности отработанных газов, уменьшение шума, снижение радиопомех при движении автомобиля [1].

Как известно, экологичность автомобиля непосредственно зависит от своевременного обслуживания его узлов и агрегатов. Чем изношенней механизмы, тем более токсичен автомобиль.