

УДК 623.8/9

ИМИТАТОР НАВИГАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ БЕЗЭКИПАЖНОГО СУДНА

А.М. Столярова

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
Россия, 197046, Санкт-Петербург, Малая Посадская ул., 30
cawact@gmail.com

И.А. Терентьев

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
Россия, 197046, Санкт-Петербург, Малая Посадская ул., 30
terentiev1978@gmail.com

Ключевые слова: имитатор, навигационные параметры, тренажер.

Аннотация: Настоящий доклад посвящен разработке математической модели навигационных параметров и ее реализации в виде имитатора навигационной обстановки автономного судна. В работе приведена математическая формулировка задачи и описание работы имитатора.

1. Введение

Сравнительно недавно появился новый класс морских тренажерных комплексов, предназначенных не столько для обучения экипажа, сколько для проверки правильности функционирования оборудования. Одним из представителей этого класса является имитатор навигационной обстановки, Имитатор навигационной обстановки предназначен для проверки систем управления морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС) в соответствии с приложением Б Положений по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС) НД №2-030101-037 от 01.08.2020.

Изделие применяется в составе инфраструктуры систем а-Навигации и е-Навигации для обеспечения автономного судовождения, судового и берегового оборудования автономного судовождения и предназначено для решения следующих задач:

- имитации внешних условий плавания и передачи их в бортовую систему автономного судовождения (САС);
- имитации целевой обстановки (положение судов-целей) на картографической основе и передачи ее в бортовую САС;
- имитации поведения (параметров движения) собственного судна под воздействием команд управления (управляющих воздействий), получаемых от САС;
- имитации данных от судовых датчиков и передачи их в бортовую САС;
- программной защиты данных и программ от несанкционированного доступа и ошибочных действий оператора;
- проверки целостности программного обеспечения.

2. Математическая модель

В основу имитатора была положена 6-мерная математическая модель навигационных параметров, описывающих особенности движения судна [1]:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & \dot{V}_x m(1 + k_{11}) = \sum F_x; \\
 (2) \quad & \dot{V}_y m(1 + k_{22}) = \sum F_y; \\
 (3) \quad & \dot{V}_z m(1 + k_{33}) = \sum F_z; \\
 (4) \quad & \dot{\omega}_x I_{xx}(1 + k_{44}) = \sum M_x; \\
 (5) \quad & \dot{\omega}_y I_{yy}(1 + k_{55}) = \sum M_y; \\
 (6) \quad & \dot{\omega}_z m(1 + k_{66}) = \sum M_z; \\
 (7) \quad & \dot{\vartheta} = \omega_x; \\
 (8) \quad & \dot{\psi} = \omega_y; \\
 (9) \quad & \dot{K} = \omega_z,
 \end{aligned}$$

где V_x , V_y , V_z – проекции относительной скорости на продольную, поперечную и вертикальную оси, связанной с судном системы координат (XYZ) (СКК); ω_x , ω_y , ω_z – проекции угловой скорости на продольную, поперечную и вертикальную оси (XYZ) СКК; ϑ – угол бортовой качки; ψ – угол килевой качки; K – курс корабля; m – масса погруженной части, кг; k_{ii} – коэффициенты присоединенных масс и моментов инерции относительно главных осей; I_{xx} , I_{yy} , I_{zz} – моменты инерции массы относительно продольной и поперечной осей, проходящей через центр тяжести полного подводного объема; F_x , F_y , F_z – проекции сил по осям (X, Y и Z) СКК; M_x , M_y , M_z – проекции моментов по осям (X, Y и Z) СКК.

Уравнение (1) описывает продольное движение судна, уравнения (2), (6) и (9) – боковое движение судна, уравнения (4) и (7) – килевую качку, (5) и (8) – бортовую качку, (3) – вертикальную качку.

В рамках работы по созданию модели было выполнено несколько задач:

- разработка продольного движения судна, проверка маневренных характеристик;
- разработка модели бокового движения, моделирование движения в режимах циркуляции;
- моделирование влияния условий внешней среды;
- разработка модели работы подруливающих устройств (ПУ)
- отладка полной модели.

В модели реализован расчет изменения углов ориентации и угловых скоростей, приращений проекций скоростей в корабельной и географической системах координат, а также расчет пройденного расстояния.

Данная модель учитывает конструкторские характеристики и особенности судна, задействованного в рамках проекта, решающего задачи автономного судовождения. Имитация движения осуществляется за счет варьирования параметров, соответствующих сигналам управления - частот вращения винтов регулируемого шага, частот вращения винтов подруливающих устройств, углов наклона лопастей ВРШ и углов перекладки рулей.

На этапе разработки модели продольного движения были определены функции коэффициентов тяги движителя и гидродинамического коэффициента сопротивления. С учетом конструкторских характеристик определены гидродинамические коэффициенты корпуса судна и руля [3].

Математическая модель учитывает, внешние климатические факторы: ветер, волнение, течение. Течение характеризуется направлением и скоростью. Данный

параметр влияет на значения проекций относительной скорости. Влияние ветровых параметров рассчитывается с учетом боковой площади судна и парусности. Волнение в модели задается как периодические колебания, зависящие от балльности и направления распространения. Проекция сил и моментов в корабельной системе координат, вызванных влиянием климатической обстановки, так же учитываются в системе уравнений (1)-(6).

Подруливающие устройства применяются для швартовки или разворота – изменения положения судна на небольшой территории при малой скорости. Моделирование режимов движения подтвердило адекватность разработанной модели. В ходе эксперимента удалось повторить маневренные характеристики судна. Результаты моделирования разгона и сброса скорости, режимов циркуляции, швартовки соответствуют таблице маневренных элементов [2] (рис. 1).

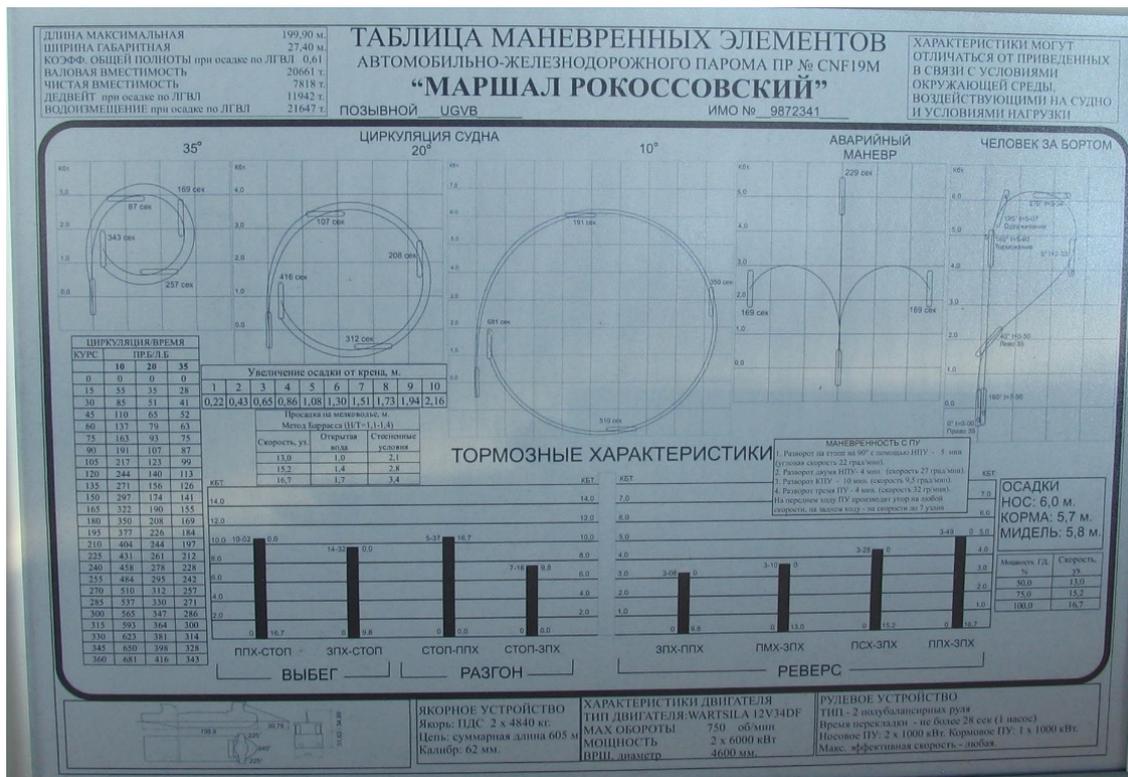


Рис. 1 Таблица маневренных характеристик моделируемого судна.

3. Реализация имитатора

Имитатор навигационной обстановки был реализован, как инструмент позволяющий работать с электронными картографическими системами, моделировать движение судна с учетом метеорологической обстановки, имитировать целевую обстановку плавания. На рис. 2 представлено диалоговое окно ИНО.

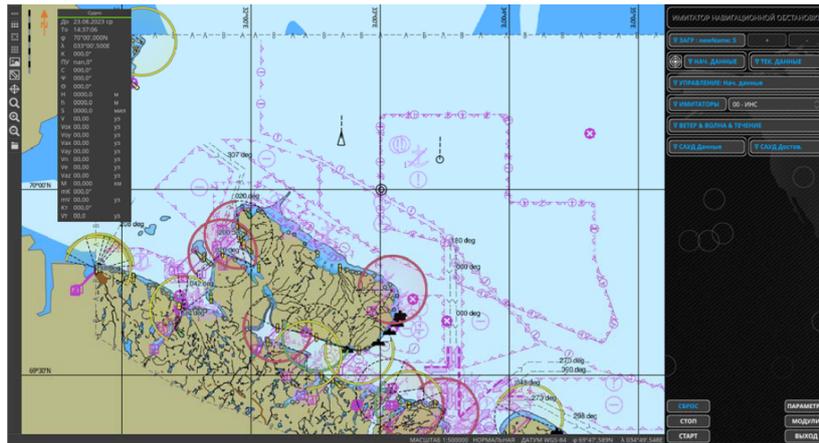


Рис. 2 Диалоговое окно ИНО.

Оператор может задать начальные данные навигационных параметров. При запуске имитации движения во вкладке «Текущие данные» будут представлены все вырабатываемые навигационные параметры, которые рассчитываются с частотой 10 Гц.

Имитатор осуществляет взаимодействие САУД и главного двигателя (ГД), осуществляющего управление винтами регулируемого шага (ВРШ) левого и правого бортов. От САУД также поступают команды, управляющие приводами рулей и двигателями подруливающих устройств.

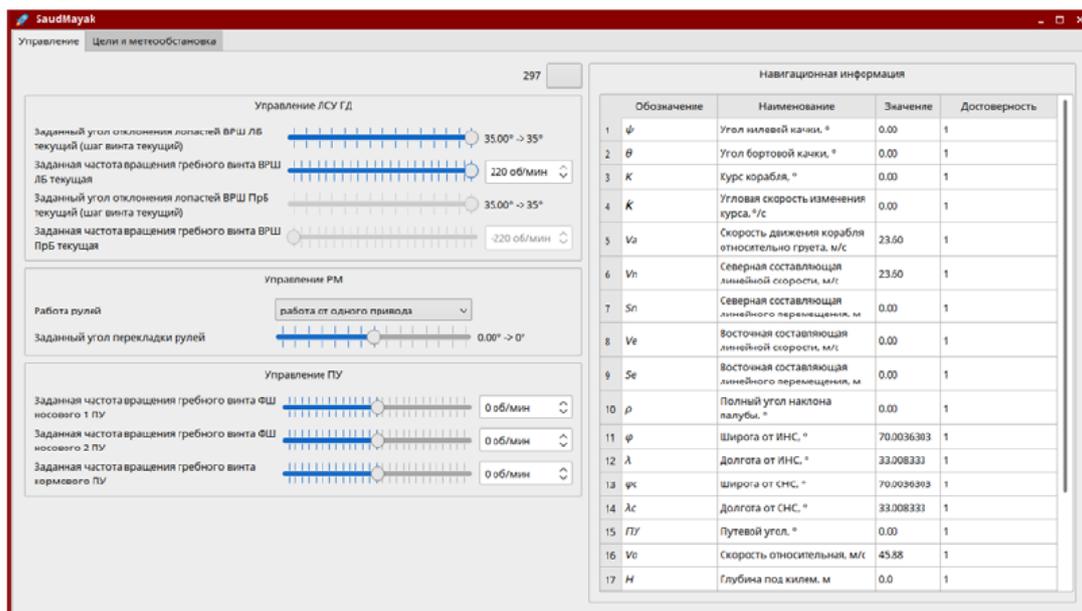


Рис. 3 Диалоговое окно САУД.

Метрологическая обстановка задается пользователем. Устанавливаются ветровые параметры, параметры, характеризующие волнение моря, и параметры течения.

Имитатор обеспечивает имитацию данных от судовых датчиков и передачу их в бортовую систему автономного судовождения. Перечень датчиков из состава комплекта судового оборудования МАНС, имитируемых ИНО, включает в себя:

- инерциальную навигационную систему (далее – ИНС);
- гирокомпас;
- лаг;

- эхолот;
- космическую навигационную систему (далее – КНС);
- кренометр электронный;
- магнитный компас;
- датчик видимости;
- радиолокационные станции (далее – РЛС);
- судовую аппаратуру универсальной автоматической идентификационной системы (далее – АИС).

Изделие обеспечивает имитацию следующих групп параметров:

- внешние условия плавания;
- целевая обстановка (положение судов-объектов-целей);
- параметры движения собственного судна.

Внешние условия плавания (локальная среда) определяются гидрометеорологическими параметрами, к которым относятся:

- направление и скорость ветра;
- волнение моря;
- глубина;
- скорость течения;
- видимость.

Бортовая САС по результатам получения информации о внешних условиях плавания, целевой обстановке (положении судов-объектов-целей), параметрах движения собственного судна, данных от судовых датчиков вырабатывает команды управления (управляющие воздействия).

Прием от бортовой САС команд управления (управляющих воздействий) осуществляется по каналу связи с физическим интерфейсом Ethernet.

ИНО обеспечивает моделирование технических средств и исполнительных механизмов судна, а также результатов воздействия на них команд управления (управляющих воздействий) и передачу их в бортовую САС.

Для организации информационного взаимодействия ИНО с оборудованием, устанавливаемым на борту МАНС, ИНО подключается к судовой аппаратуре.

4. Заключение

Следует отметить, что разработанный имитатор, хоть и может быть использован для учебных целей, относится скорее к тестовому оборудованию. Однако следует принять во внимание тот факт, что тенденция развития тренажерной техники состоит во включении в тренажер все большего объема информации о неисправных состояниях изделий. Данная тенденция обусловлена желанием эксплуатанта заказов обеспечить быстрое, качественное, а главное – недорогое техническое обслуживание. В полной мере это утверждение относится к МАНС, что делает задачу разработки и дальнейшей детализации ИНО особенно актуальной.

Список литературы

1. Мирохин Б.В., Жинкин В.Б., Зильман Г.И. Теория корабля. Л.: Судостроение, 1989. 352 с.
2. Отчет CNF19M-100-053. «Исследование ходовых качеств автомобильно-железнодорожного парома нового поколения для линии Усть-Луга-Балтийск проекта CNF19M». ООО «Цифровые Морские Технологии».
3. Гофман А.Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна: Справочник. Л.: Судостроение, 1988. 360 с.