

Рисунок 3 – Области относительно стекла

Знание того, в какую сторону от рассматриваемого стекла отклоняется точка М, позволяет определить следующее стекло (иллюминатор ходового мостика), для которого надо пытаться вычислить положение отметки виртуальной цели [6].

В Государственном Морском Университете имени адмирала Ф.Ф. Ушакова на базе Института Повышения Квалификации проводится подготовка специалистов водного транспорта с использованием современных тренажерных комплексов и ведутся научно-исследовательские работы по формированию новых подходов для отработки навыков принятия решения в цифровой среде (смешанная реальность) [7].

В этой связи данное направление исследования можно считать актуальным в связи с тем, что оптимизация («очеловечивание») и стандартизация интерфейса пользователя является одним из ключевых решений СПР *e-Navigation*.

**Литература:**

1. Hagen G.E., Implementing e-Navigation, Artech House, 2017.
2. [www.mol.co.jp/en/pr/2018](http://www.mol.co.jp/en/pr/2018)
3. К задаче прогнозирования столкновений судов. Документация к разработанному ПО. – Файл Project.pdf. -2019.
4. К задаче отображения обстановки в смешанной (дополненной) реальности. Документация к разработанному ПО. Вычисление матрицы поворота системы координат. – Файл Rotation3D.pdf.- 2019.
5. К задаче отображения обстановки в смешанной (дополненной) реальности. Документация к разработанному ПО. Модуль Geometry3D.-Файл Geometry3D.pdf.- 2019.

6. Popov A., Kondratiev A., Smirnov I. The algorithm for fast forecasting of the collision danger degree with ships and surface objects in the e-navigation area, AGA 2018, 19 TH Annual General Assembly (AGA) of the International Association of Maritime Universities (IAMU), 17-19 October 2018, Barcelona, Spain, pp. 442-449.
7. Milgram P., Kishino F.. A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Transactions on information and systems, Vol. E77-D, № 12 December 1994.
8. Кондратьев С.И. Теоретические основы управления крупнотоннажными судами по критериям безопасности и энергосбережения: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Новороссийск, 2004.

**References**

1. G.E. Hagen, Implementing e – Navigation, Artech House, 2017.
2. [www.mol.co.jp/en/pr/2018](http://www.mol.co.jp/en/pr/2018)
3. K zadache prognozirovaniya stolknovenij sudov. Dokumentaciya k razrabotannomu PO. – Fajl Project.pdf. -2019.
4. K zadache otobrazheniya obstanovki v smeshanno (dopolnennoj) real'nosti. Dokumentaciya k razrabotannomu PO. Vychislenie matricy povorota sistemy koordinat. – Fajl Rotation3D.pdf.- 2019.
5. K zadache otobrazheniya obstanovki v smeshanno (dopolnennoj) real'nosti. Dokumentaciya k razrabotannomu PO. Modul' Geometry3D.-Fajl Geometry3D.pdf.- 2019.
6. Popov A., Kondratiev A., Smirnov I.. The algorithm for fast forecasting of the collision danger degree with ships and surface objects in the e-navigation area, AGA 2018, 19 TH Annual General Assembly (AGA) of the International Association of Maritime Universities (IAMU), 17-19 October 2018, Barcelona, Spain, pp. 442-449.
7. P. Milgram, F. Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Transactions on information and systems, Vol. E77-D, № 12 December 1994.
8. Kondrat'ev S.I. Teoreticheskie osnovy upravleniya krupnotonnazhnyimi sudami po kriteriyam bezopasnosti i energosberezheniya. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk.– Novorossijsk, 2004.

УДК 656.61.052  
DOI: 10.34046/aumsuomt91/11

**ВЫБОР СТРУКТУРЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИДЕНТИФИКАЦИИ СУДНА**

*Я.В. Бурьлин, кандидат технических наук*

Предлагается способ конструирования малогабаритного морского подвижного объекта (ММПЮ) с управлением и получением данных его кинематических параметров по беспроводному каналу связи Wi-Fi. Предлагается подход выбора структуры математической модели ММПЮ при идентификации на основании временных рядов кинематических параметров судна, полученных в ходе натурных испытаний.

A method is proposed for constructing a small-sized maritime mobile object (MMPO) with control and data acquisition of its kinematic parameters over a wireless Wi-Fi communication channel. An approach is proposed for choosing the structure of the mathematical model of MMPO for identification on the basis of the time series of the kinematic parameters of the vessel, obtained during the field tests.

*Построение ММПО*

Для исследования проблем идентификации и управления судами необходим обширный объем данных, получаемых в результате комплекса маневров таких как «зигзаг», «спираль» и т.д., который зачастую оказывается недоступен для исследователя ввиду дороговизны эксплуатации судна и неготовности судовладельца или фрахтователя предоставлять судно для научных исследований. Возникает необходимость создания моделей судов с соблюдением масштабных коэффициентов его размерений и основных динамических и кинематических параметров для дальнейших исследований алгоритмов идентификации и управления.

Для исследований предлагается использовать масштабную модель учебно-производственного судна типа "Профессор Щеголев". Судно построено в Польше в 1970 г., водоизмещением 6036 тонн, длиной 122 метра, шириной 17 метров, высотой борта: 9,93 м, осадкой 3,73 – 7,36 м. Корпус модели, винт и перо руля выполнены в масштабе 1:100 с примени-

ем двухкомпонентной эпоксидной смолы, армированной стекловолоконной тканью рисунок 1.

Системы и модули управления, сбора, приема и передачи данных ММПО и их характеристики приведены в таблице 1.

Особенностью системы дистанционного управления является ее реализация с применением радиочастот Wi-Fi через протокол стека TCP/IP. Система реализована на двух программных платформах ArduinoIDE на базе микроконтроллера на борту ММПО и MATLAB на базе персонального компьютера, ноутбука или любого другого мобильного устройства, обменивающихся данными телеметрии и управления по протоколу TCP/IP. Преимуществом такого способа реализации дистанционного управления является использование средств телекоммуникации имеющихся у большинства мобильных телекоммуникационных устройств (мобильные телефоны, ноутбуки, планшетные компьютеры) модулей Wi-Fi, что позволяет вынести интерфейс управления и индикации на экран устройства. Разработанный интерфейс (первая вкладка) показан на рисунке 2.



Рисунок 1 – Внешний вид ММПО

Таблица 1

Система	Модуль	Характеристики
Процессор	ArduinoMega	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Микроконтроллер: ATmega2560;</li> <li>• Рабочее напряжение: 5В;</li> <li>• Входное напряжение: 7-12В;</li> <li>• Входное напряжение (предельное): 6-20В;</li> <li>• Постоянный ток через вход/выход: 40 mA;</li> <li>• Постоянный ток для вывода 3.3 В: 50 mA;</li> <li>• Флеш-память: 256 KB;</li> <li>• ОЗУ: 8 KB;</li> <li>• Энергонезависимая память: 4 KB;</li> <li>• Тактовая частота: 16 MHz.</li> </ul>
Ориентация	BNO080	<ul style="list-style-type: none"> <li>• I2C (по умолчанию): до 400 кГц;</li> <li>• SPI: до 3 МГц;</li> <li>• UART: 3 Мбит/с;</li> <li>• Вектор вращения:</li> <li>• Динамическая ошибка: 3,5 °;</li> <li>• Статическая ошибка 2,0 °;</li> <li>• Игровой вектор вращения:</li> <li>• Динамическая ошибка: 2,5 °;</li> <li>• Статическая ошибка 1,5 °;</li> <li>• Дрейф заголовка: 0,5 °/мин;</li> <li>• Геомагнитного вектор вращения;</li> <li>• Динамическая ошибка вращения: 4,5 °;</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Статическая ошибка вращения: 3,0 °;</li> <li>• Погрешность угла тяжести: 1,5 °;</li> <li>• Точность линейного ускорения: 0,35 м/с<sup>2</sup>;</li> <li>• Точность акселерометра: 0,3 м/с<sup>2</sup>;</li> <li>• Погрешность гироскопа: 3,1 °/сек;</li> <li>• Точность магнитометра: 1,4 мкТ;</li> </ul>
Позиционирование	GY-NEO6MV2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обмен данными: UART;</li> <li>• Автономный GPS приемник;</li> <li>• Модуль U-blox NEO-6M GPS;</li> <li>• SuperSense @ Indoor GPS: -162 дБм чувствительности отслеживания;</li> <li>• Технология антиподавления;</li> <li>• Поддержка SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN);</li> <li>• Скорость обновления местоположения: 5 Гц.</li> </ul>
Приемопередатчик	ESP8266	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IEEE 802.11 b/g/n;</li> <li>• MCU32-бит;</li> <li>• АЦП10-бит;</li> <li>• стек протоколов TCP/IP;</li> <li>• встроенный РЧ коммутатор, РЧ трансформатор сопротивлений, LNA, усилитель мощности;</li> <li>• встроенные блоки ФАПЧ и управления мощностью;</li> <li>• Wi-Fi 2,4 ГГц, поддержка WPA/WPA2;</li> <li>• SDIO 2.0, (H) SPI, UART, I2C, I2S, IRDA, PWM, GPIO;</li> <li>• STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO;</li> <li>• выходная мощность +20 дБм в режиме 802.11b.</li> </ul>
Подсчет оборотов винта	F249	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Инфракрасный сенсор;</li> <li>• Рабочее напряжение 3.3 – 5.5 В.</li> </ul>
Привод пера руля	MG996R	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Крутящий момент: 12 кг/см;</li> <li>• Напряжение: 4.8-7.2 В;</li> <li>• Скорость: 0.13-0.17сек /60 оборотов.</li> </ul>
Главный двигатель	JGA25-370	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Напряжение: 12В (пост. ток);</li> <li>• Выходная мощность: 0.7-2W;</li> <li>• Редуктор: 900 об.мин.</li> </ul>
Питание	Батарея ГД	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тип: литий – полимер;</li> <li>• Напряжение: 11.1 В;</li> <li>• Емкость: 5200 мА/ч;</li> <li>• Конфигурация: 3с;</li> <li>• Расход тока: 30с.</li> </ul>
	Батарея процессора	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тип: литий – полимер;</li> <li>• Напряжение: 7.4В;</li> <li>• Емкость: 3000 мА/ч;</li> <li>• Конфигурация: 2с;</li> <li>• Расход тока: 25с.</li> </ul>



Рисунок 2 – Интерфейс управления и индикации

Выбор модели ММПО

Временные ряды кинематических данных модели сохраняются в памяти мобильного устройства и доступны для анализа в режиме онлайн. Это позволяет производить адаптацию,

идентификацию и программное управление ММПО в режиме реального времени. По результатам ходовых испытаний (маневр «спираль») представленной масштабной модели получены данные, показанные на рисунке 3.

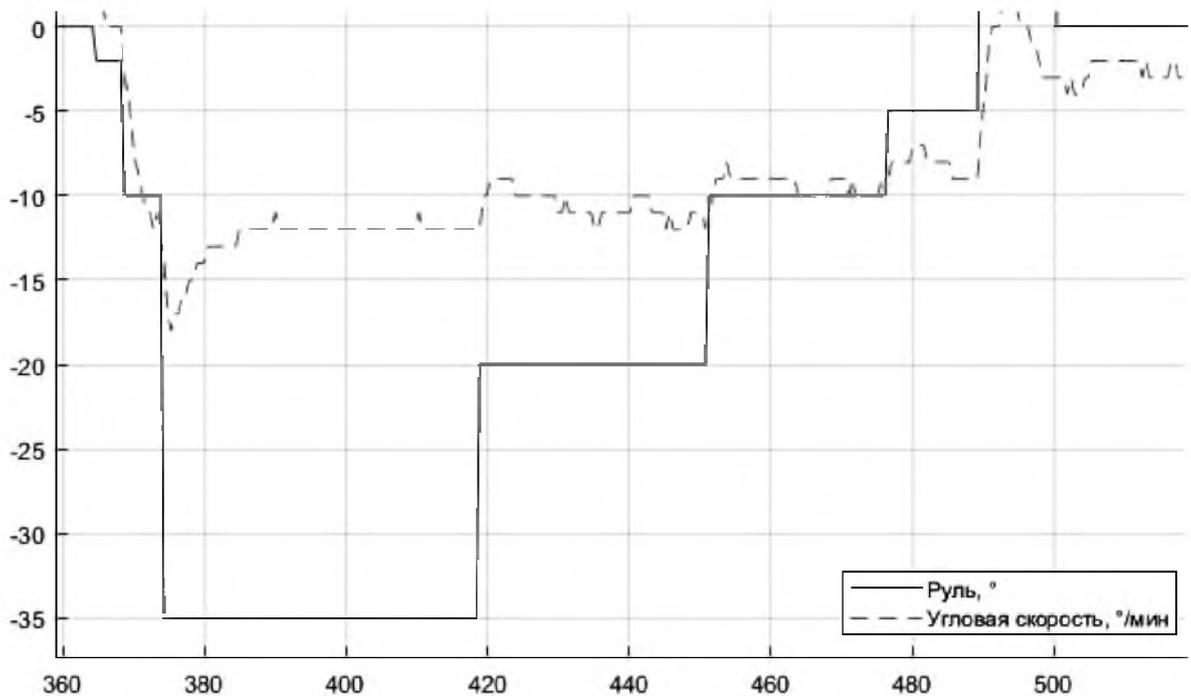


Рисунок 3 – Зависимость угловой скорости от угла перекладки руля

Из рисунка видно, что:

1. При ступенчатой перекладке руля возникает гребень перерегулирования угловой скорости, прежде чем она примет установившееся значение.
2. Значения установившихся угловых скоростей не пропорциональны вызывающим их углам перекладки руля.

Первый факт говорит о том, что порядок модели должен быть не ниже второго. Второй факт указывает на то, использование стандартных моделей Номото как первого, так и второго порядков в качестве эталонных невозможно, т.к. они требуют линейной зависимости установившихся значений угловых скоростей от вызывающих их перекладок руля.

Исходя из перечисленных обстоятельств предлагается в качестве эталонной модели идентификации использовать взаимосвязанную модель для угловой и поступательной скоростей судна [1], учитывающую в частности влияние падения поступательной скорости на управляемость судна:

$$\begin{cases} \dot{\omega} = \frac{1}{T_1} \omega + k_1 \nu \delta; \\ \dot{\nu} = \frac{1}{T_2} \nu + k_2 \omega^2 + k_3 n, \end{cases} \quad (1)$$

где  $T_{1,2}$  – постоянные времени модели;

$\omega, \nu$  – угловая и продольная скорости судна;

$\delta, n$  – угол перекладки руля и частота вращения винта;

$k_{1,2,3}$  – коэффициенты модели.

Произвести полноценные ходовые испытания с измерением продольных скоростей на данном этапе проекта не представляется возможным, поскольку используемый инерционный датчик имеет большие погрешности определения продольных ускорений. Однако, по предварительной оценке, продольных скоростей на основе диаметров установившихся циркуляций можно произвести моделирование. При моделировании уравнения (1) с параметрами:  $T_1 = -2,5, T_2 = -1,4, k_1 = 0,5, k_2 = -0.005, k_3 = 0.001$ , переходные процессы управления модели приобретают вид, показанный на рисунке 4. Относительная погрешность угловой скорости математической модели от измеренной не превышает 5% по величине, что свидетельствует о правильности выбора модели (1).

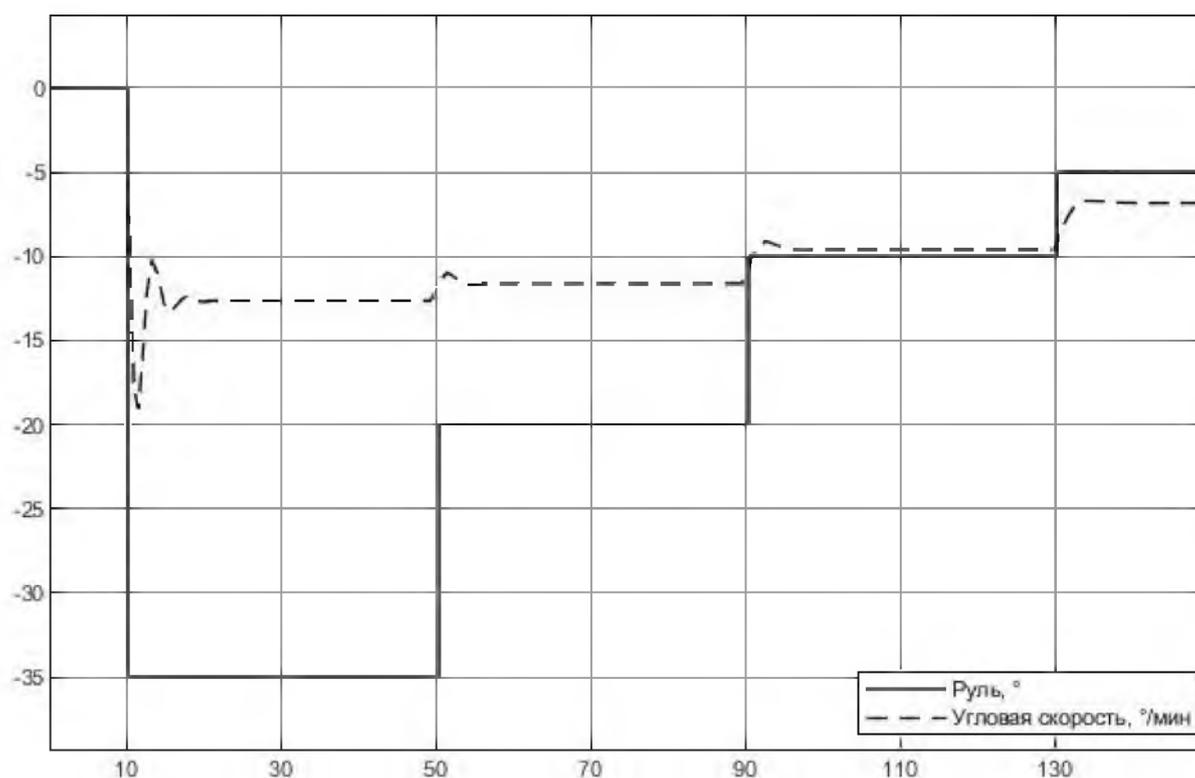


Рисунок 4 – Переходные процессы модели

На текущем этапе реализации проекта ММПО планируются ходовые испытания с использованием датчика GPS и системы захвата и ведения целей Computer Vision MATLAB для уточнения структуры модели (1) и ее коэффициентов.

#### Литература

1. Бурьлин Я.В. Идентификация нелинейной моде-

ли движения судна и адаптивное управление по траектории [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.19. –Новороссийск, 2018. – 24 с.

#### References

1. Burylin Y. V. Identifikaciya nelinejnoj modelidvizheniya sudnai adaptivnoe upravlenie potraektorii [Text]/ avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05.22.19. – Novorossijsk, 2018. - 24 s.

УДК 004.8:656.614.3(985)  
DOI: 10.34046/aumsuomt91/12

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ МОРСКИМИ ГРУЗОПЕРЕВОЗКАМИ В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ – НАСТРОЙКА НЕЧЁТКОГО ВЫВОДА ТИПА МАМДАНИ

*Е. Ю. Соболевская, старший преподаватель*  
*С. В. Глушков, доктор технических наук, профессор*  
*Н. Г. Левченко, кандидат технических наук, доцент*

Организация и управление морскими грузоперевозками из-за сложных условий плавания в Арктической зоне России и субарктической зоне Дальнего Востока России нуждаются в комплексном подходе к внедрению информационных технологий с использованием интеллектуальных систем. Статья посвящена вопросам разработки информационной интеллектуальной системы для организации и управления морскими грузоперевозками с учетом сложных условий плавания. Представлена структура нечеткого вывода типа Мамдани, реализованная посредством Fuzzy Logic Toolbox математического пакета Matlab. Обоснована необходимость настройки системы нечеткого вывода типа Мамдани на натуральных данных. Проведен анализ рейсовых отчетов капитанов судов ледового класса, на основе которых сформирована обучающая выборка из натуральных данных. Для настройки моделей типа Мамдани использовался инструмент Optimization Toolbox в Matlab. Получена новая нечеткая модель типа Мам-