

УДК 004.8:681.323

А.Д. Лапицкий, А.Е. Миненок, К.М. Хримпач

**ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ИССЛЕДОВАТЕЛЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ  
ПОВЕДЕНИЯ ВЕРИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ МПО ПРИ РАЗЛИЧНЫХ  
ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЯХ\***

Рассматривается класс задач управления морским подвижным объектом (МПО) в аварийных режимах. Ввиду того, что МПО является нелинейной системой, описываемой дифференциальными уравнениями высокого порядка, а управление осуществляется с использованием большого числа технических средств управления (ТСУ), создан интерфейс исследователя для верификации моделей МПО, ТСУ, возмущений.

С использованием разработанного интерфейса исследователя в составе программного обеспечения стенда полномасштабного имитационного моделирования проводятся исследования по отработке существующих алгоритмов управления и создания новых.

Система имитационного моделирования; база знаний; задачи аварийного управления, интерфейс исследователя; агентные технологии.

A.D. Lapitskiy, A.E. Minenok, K.M. Khrimpach

**RESEARCHER INTERFACE CONSTRUCTION FOR INVESTIGATION  
OF THE BEHAVIOUR OF VERIFIED MPO IN DIFFERENT EXTERNAL  
PERTURBATIONS**

*The paper investigates controlling problems class in emergency conditions of Naval Moving Object (NVO). Considering NVO is a non-linear system, describing by a system of high-order equations, and controlling is performed by a large number of Technical Control Assets (TSA), the researcher interface is constructed to verify the NVO model, TSA models and external perturbations.*

*The researches for testing and developing new algorithms are performed by the developed researcher interface included in the software of the full-scale imitational modeling stand.*

*Imitational simulating system; knowledge base; emergency management objectives; interface of a researcher; agent technologies.*

**Введение.** Рассматривается класс задач управления морским подвижным объектом (МПО) в аварийных режимах. Управление классом морских многоцелевых, многорежимных подводных объектов (МПО) является сложным из-за:

- ◆ нелинейности математической модели движения МПО высокой размерности;
- ◆ многомерного управления и сложности процессов в технических средствах управления (ТСУ) при их функционировании;
- ◆ многоуровневой организации многофункциональной комплексной системы управления техническими средствами (КСУ ТС) в различных режимах управления;
- ◆ воздействия возмущений на МПО со стороны неоднородной среды и в аварийных ситуациях [1].

Соответственно, в основу какой-либо задачи ставится разработка программных комплексов моделирования движения объекта, работы технических средств управления и воздействия возмущений.

Морские подвижные объекты (МПО) обладают чрезвычайной степенью сложности, как по составу технических средств, так и по их управляемости в целом. Управление МПО осуществляется при помощи специальных постов управления и

\* Работа проводится при поддержке РФФИ № 12-08-00769-а.

мониторинга за движением МПО. На управляемость МПО влияет множество различных факторов, игнорирование которых может легко привести к потере корабля и его экипажа. Поэтому в процессе маневрирования необходимо постоянно осуществлять отслеживание динамики изменения параметров движения, на основе которых определяется то или иное управляющее воздействие [5, 7].

Ввиду того, что МПО является нелинейной системой, описываемой дифференциальными уравнениями высокого порядка, а управление осуществляется с использованием большого числа технических средств управления (ТСУ), создан интерфейс исследователя для верификации моделей МПО, ТСУ, возмущений.

С использованием разработанного интерфейса исследователя в составе программного обеспечения стенда полномасштабного имитационного моделирования проводятся исследования по отработке существующих алгоритмов управления и создания новых.

**Архитектура стенда.** Данная работа является продолжением работы по созданию стенда полномасштабного имитационного моделирования для синтеза алгоритмов управления морским подвижным объектом в аварийных ситуациях. Класс рассматриваемых задач ограничивается задачами аварийного управления в следующих ситуациях:

- ◆ пробоевне прочного корпуса;
- ◆ раздифферентовке по силе и моменту;
- ◆ заклинке рулей [6].

В процессе разработки и реализации стенда полномасштабного имитационного моделирования изменению подверглась архитектура данного стенда (первоначальная версия архитектуры представлена в статье «К постановке проблемы разработки системы интеллектуального управления морским подводным объектом в нормальных и аварийных целях эксплуатации»).

Для обеспечения масштабируемости и большей гибкости стенда полномасштабного имитационного моделирования разработан программный интерфейс для взаимодействия с вычислительным ядром системы. Архитектура стенда представлена на рис. 1. Под вычислительным ядром системы понимается реализованная на языке C++ модель МПО типа «Ясень».

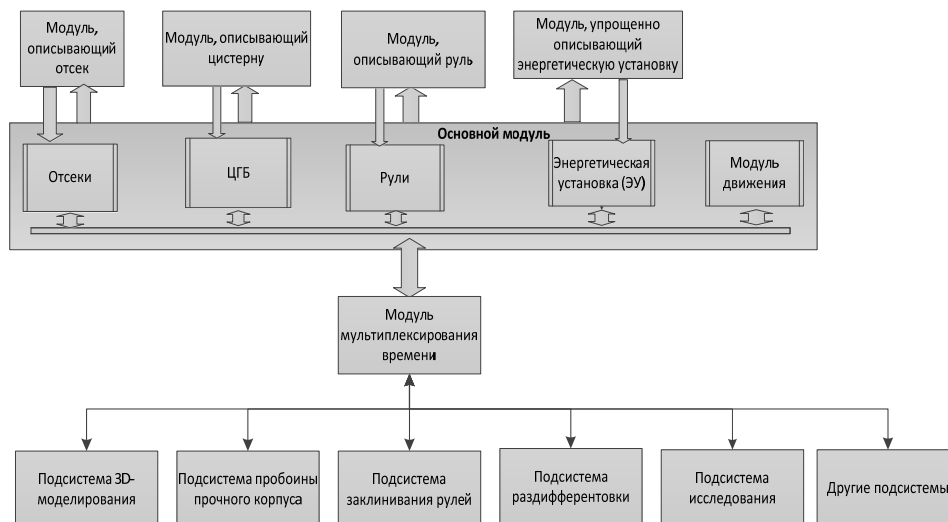


Рис. 1. Архитектура стенда

В данный модуль входят реализации физической модели движения МПО, моделей ТСУ (ЦГБ, гидроприводов и ЭУ), а также модели затопления отсека прочного корпуса. Взаимодействие сторонних подсистем осуществляется через модуль мультиплексирования времени, позволяющий производить моделирование (применять управление) как в режиме реального времени, так и в режиме ускоренного времени. Модуль мультиплексирования времени имеет полный доступ к характеристикам МПО (как физическим, так и производным физических величин). Соответственно, при разработке программных систем, использующих реализованное вычислительное ядро стенда полномасштабного имитационного моделирования, имеется возможность использовать только необходимые для конкретной задачи параметры МПО.

Любая подсистема, взаимодействующая с вычислительным ядром стенда, должна получать на вход физические параметры МПО и в результате своей работы производить управляющее воздействие, которое будет передано на работающую модель МПО. В рамках настоящей работы разрабатываются подсистемы управления МПО в аварийных ситуациях. Разработка таких систем не затрагивает верифицированную реализацию модели МПО и может производиться независимо друг от друга. Выделим основные черты и архитектурные особенности, которыми обладают все подсистемы аварийного управления:

- ◆ функционирование в нескольких режимах – необходимо реализовать возможность осуществления дистанционного управления, управления в режиме «Совета» и автоматическом режиме;
- ◆ наличие модуля управления – основного модуля, который синтезирует управление на основе физических параметров МПО и знаний предметной области, хранящихся в базе знаний. Данный модуль в качестве выходного сигнала передает управляющий сигнал для ТСУ независимо от режима работы подсистемы;
- ◆ наличие базы знаний – предметного ядра подсистемы, в которой хранятся описания интеллектуальных агентов и ситуаций;
- ◆ использование модуля формирования совета при работе в режиме «Совета». Данный модуль необходим для преобразования программной рекомендации по применению управления в совет на ЕЯ;
- ◆ использование модуля объяснения при работе в режиме «Совета» и автоматическом режиме, который должен выводить содержательную информацию, описывающую логику работы и выбора управления в конкретной ситуации;
- ◆ наличие пользовательского интерфейсного модуля, который спроектирован для демонстрации ключевых для текущей ситуации физических параметров МПО (дифферента, глубины и пр. при пробое прочного корпуса). Данный модуль должен обладать функциональными возможностями по осуществлению управления, инициированного оператором;
- ◆ наличие модуля прогнозирования.

Принципиальная схема стенда моделирования в аварийных ситуациях представлена на рис. 2.

В рамках разработки подсистем аварийного управления первоначальным этапом является реализация интерфейса подсистемы исследования для изучения поведения модели МПО в различных ситуациях и его интеграция с вычислительным ядром стенда. Реализация интерфейсного модуля выполнена в среде Qt. Кроме того, выполнена реализация подсистемы, обеспечивающей трехмерное моделирование движения МПО. Реализация 3D-модуля выполнена в среде Unity3D. Рассмотрим на примере подсистемы управления при пробое прочного корпуса требования к интерфейсу и его разработанный макет.

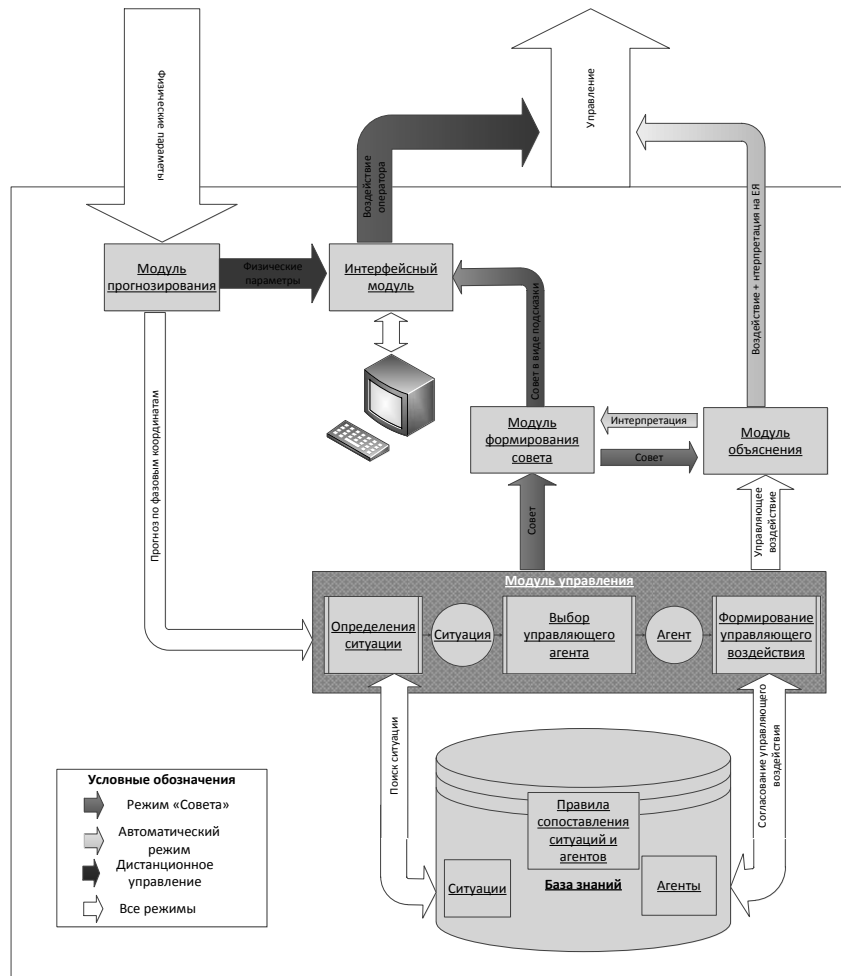


Рис. 2. Принципиальная схема стенда моделирования в аварийных ситуациях

**Интерфейс исследователя.** При разработке интерфейса исследователя решено, что он должен быть реализован в виде следующих окон: главное окно, окно исследователя, окно мониторинга и окно графика. Данная структура обусловлена тем, что для наблюдения за параметрами МПО необходимо разделять параметры, необходимые к показу исследователю, и параметры модели, описывающие полное состояние МПО. Приведем требования, предъявляемые к окну исследователя [2–4].

**Окно исследователя.** Окно исследователя содержит ключевые параметры МПО, необходимые к показу исследователю подвижного объекта. Данное окно позволяет оператору вмешиваться в процесс движения МПО, используя предоставляемые интерфейсные возможности. В процессе реализации окна исследователя были приняты следующие проектные решения:

- ◆ окно исследователя содержит область для отображения процесса агентного управления. В данной области в автоматическом режиме выводится последовательность примененных агентов, а в консультационном режиме – только рекомендуемый агент;
- ◆ окно исследователя содержит область, в которой приведены физические параметры МПО: скорости, углы и пр.;

- ◆ для того, чтобы оператор мог вмешиваться в процесс управления морским подвижным объектом, в окно исследователя добавлены области, позволяющие управлять ТСУ: область рулей, область энергетической установки и область групп цистерн;
- ◆ область рулей содержит виджеты, схожие с ручками управления рулями, используемыми в подводных объектах;
- ◆ область энергетической установки содержит аналог рычага, регулирующего тягу;
- ◆ область групп цистерн содержит кнопки, которые управляют продуванием и заполнением групп цистерн главного балласта. Данные кнопки подсвечиваются синим цветом в случае активности соответствующего действия;
- ◆ для быстрого сигнализирования о появлении аварии введена область отсеков, содержащая 9 виджетов, которые в нормальном состоянии окрашены в серый цвет, а в аварийном – в красный.

Макет разработанного окна исследователя представлен на рис. 3.

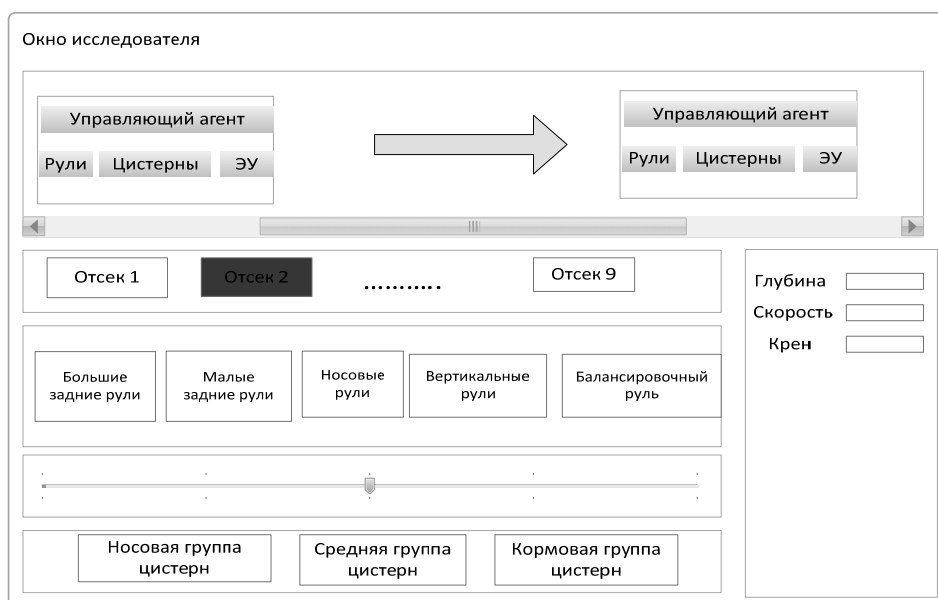


Рис. 3. Макет окна исследователя

**Подсистема 3D-моделирования.** За создание 3D-среды и ряда эффектов отвечают базы геометрических примитивов и мультиплатформенного инструментария Unity3D, представленный на рис. 4. Созданные с помощью Unity приложения работают под операционными системами Windows, OS X, Linux. Есть возможность создавать интернет-приложения с помощью специального подключаемого модуля к браузеру Unity, а также с помощью экспериментальной реализации в рамках модуля Adobe Flash Player. Приложения, созданные с помощью Unity, поддерживают DirectX и OpenGL. Также важно отметить полностью настраиваемый интерфейс пользователя, с помощью которого создание ландшафтов и настройка окон различных постов возможны в режиме drag-and-drop.

Подсистема 3D-моделирования призвана предоставить визуальную информацию о движении объекта, окружающем его пространстве и процессе его пространственного маневрирования, а также для построения сложных многомерных графиков [4].

Архитектурно подсистема представляет собой модуль скриптов, реализующих логику взаимодействия с вычислительным ядром системы, базу объектов, из которых как из структурных блоков создаются различные 3D-сцены и интерфейсы, и ядро подсистемы. Ядро подсистемы состоит из высокооптимизированного графического пакета, работающего как для DirectX (в том числе поддержка DirectX 11), так и для OpenGL. Модуль скриптов включает функциональный код взаимодействия с сокетом, через который передаются данные из вычислительного ядра, и логику работы с другими элементами сцен, таких как камеры, освещение, системы частиц. База объектов представляет собой репозиторий 3D-примитивов, из которых собираются законченные сцены.



Рис. 4. Инструментарий Unity3D

Сейчас подсистема 3D-моделирования реализует создание сцен на основе базы объектов, создание ландшафтов на основе карты высот. На данный момент подсистема через сокет получает данные из вычислительного ядра для модели МПО и отображает полученные данные на 3D-модель, созданную на основе реально существующего МПО, к которой закреплены наборы камер, реализующие различные перспективы для наблюдения за пространственным маневрированием, пока находятся в разработке элементы, отвечающие за отображения пространственных графиков и визуальная модель повреждения объекта.

Дальнейшая реализация подсистем предполагает заполнение базы знаний для каждой из подсистем. Для корректного заполнения БЗ необходимо провести исследование поведения МПО при задании различных управляющих воздействий для различных внешних возмущений. Данное исследование будет осуществлено с использованием разработанного интерфейса исследователя. Для создания базы знаний и задач управления будет разработан специальный интеллектуальный интерфейс. В дальнейшем на основе БЗ будет синтезировано управление по каждой задаче, позволяющее решать задачи управления МПО в аварийных ситуациях.

После выявления закономерностей между управляющими воздействиями и реакцией МПО для наполнения БЗ необходимо реализовать возможность автоматического запуска модели и организации различных сценариев. Реализация данной возможности планируется в виде модуля сценариев, на вход которому можно будет подавать структурированное описание сценария, а на выход данный модуль генерирует управляющие сигналы. Ко всему прочему данный модуль позволит отлаживать сложные многоэтапные алгоритмы управления.

Таким образом, система позволит разрабатывать, моделировать и верифицировать различные алгоритмы на стенде, получать полную информацию о состояниях всего объекта в целом и различных постов в отдельности в процессе моделирования, что может позволить использовать стенд и в качестве обучающего тренажера. При задании точной спецификации вычислительно ядра в дальнейшем его можно будет заменять моделями других технических подвижных объектов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Борисов В.Г., Данилова С.К., Чинакал В.О.* Применение средств виртуальной реальности при создании комплексных тренажеров и систем управления // Труды международной конференции "Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2009)". – М.: ИПУ РАН, 2009.
2. Психология и физиология восприятия информации [*Электронный ресурс*] – <http://psyhotronika.ru/psixo/>.
3. *Борисов В.Г., Данилова С.К., Чинакал В.О.* Разработка системы отображения виртуальной реальности с использованием типовых объектов и конфигурирования // Труды XXXII Всероссийской конференции "Управление движением морскими судами и специальными аппаратами". – Адлер: ИПУ РАН, 2005.
4. *Ромакин В. А., Балабанов А. В.* Структура системы виртуальной реальности для интерактивных учебных пособий // Труды международной конференции "Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2008)". – М.: ИПУ РАН, 2008.
5. *Рождественский В.В.* Динамика подводной лодки. – Л.: Судостроение, 1970.
6. *Мазор М.Е.* Исследование специальных режимов движения подводной лодки: Дисс. ... ЦНИИ им. А. И. Крылова, 1962.
7. *Рождественский В.В.* Методика определения параметров движения подводной лодки в вертикальной плоскости (линейная задача) // Труды ЦНИИ им. А. И. Крылова, 1957. Вып. 109.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. Е.П. Маслов.

**Лапицкий Антон Дмитриевич** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук; e-mail: antlapit@gmail.com; 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 65; тел.: 84953349240; лаборатория 45; старший инженер программист.

**Хримпач Константин Михайлович** – e-mail: hrimkm@gmail.com; лаборатория 45; старший инженер программист.

**Миненок Александр Евгеньевич** – e-mail: crradis4e@gmail.com; лаборатория 45; старший инженер программист.

**Lapitskiy Anton Dmitrievich** – V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences; e-mail: antlapit@gmail.com; 65, Profsoyuznaya street, Moscow, 117997, Russia; phone: +74953349240; laboratory 45; senior software engineer.

**Khrimpach Constantin Mikhailovich** – e-mail: hrimkm@gmail.com; laboratory 45; senior software engineer.

**Minenok Alexander Evgenievich** – e-mail: crradis4e@gmail.com; laboratory 45; senior software engineer.