



ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОЗДАНИЮ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МОРСКИМИ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ И РАЗРАБОТКЕ ТРЕНАЖЕРНЫХ СИСТЕМ

В.Г. Борисов, С.К. Данилова, В.О. Чинакал

Приведены основные результаты цикла исследований по решению теоретических, методических и практических проблем, связанных с созданием перспективных систем управления морскими подвижными объектами, повышением безопасности управления данным классом объектов и разработкой современных тренажерных систем для подготовки операторов постов управления этими объектами.

Ключевые слова: морские подвижные объекты, системы управления, компьютерные технологии, алгоритмы, имитационное моделирование, тренажерные системы.

ВВЕДЕНИЕ

Современные морские подвижные объекты (МПО), такие как подводные лодки, обитаемые и необитаемые подводные аппараты, относятся к классу технически сложных динамических объектов и обладают рядом характерных особенностей в управлении. Постоянное совершенствование тактико-технических характеристик МПО, увеличение мощности энергетических установок, скорости хода и усложнение выполняемых задач предъявляют повышенные требования к новому поколению перспективных комплексных систем управления (КСУ) техническими средствами таких объектов. Для управления применяют различные гидродинамические и гидростатические технические средства управления (ТСУ), обеспечивающие различную эффективность управления в разных режимах и имеющие определенные технические и ресурсные ограничения.

Отметим следующие основные особенности и требования к управлению МПО:

- нелинейную математическую модель движения МПО, сложные нелинейные модели работы технических средств и систем управления с общим высоким порядком полной модели (в некоторых сложных режимах более 300);

- многомерное и многосвязное управление, осуществляемое с различных постов управления;

- сложную структуру связей «объект — технические средства управления — КСУ техническими средствами — КСУ — возмущения внешней среды»;

- большое число различных режимов эксплуатации МПО (нормальные, аварийные и специальные);

- необходимость учета различных целей управления и их изменения в процессе управления в зависимости от конкретной ситуации;

- обеспечение повышенной безопасности и точности управления МПО в сложных условиях плавания;

- обеспечение высокого уровня подготовки операторов постов управления МПО и оперативной поддержки принятия ими решений;

- обеспечение координированного управления объектом в автоматическом, полуавтоматическом и дистанционном режимах;

- обеспечение альтернативного управления МПО при отказах ТСУ и возникновении аварийных ситуаций;

- дополнительные специфические требования, связанные с основным целевым назначением МПО;

- учет особенностей и возможностей построения бортовых систем управления МПО в виде распределенных автоматизированных комплексов, реализованных на современных аппаратно-программных средствах.

Разработки и исследования перспективных КСУ техническими средствами были выполнены с учетом этих требований и особенностей. Основная цель состояла в существенном повышении эффективности и безопасности управления МПО,кладываемом на этапе проектирования КСУ ТС и при создании высокоэффективных систем подготовки операторов, управляющих движением МПО. Для



реализации поставленной цели потребовалось выполнить исследования по ряду взаимосвязанных направлений.

1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ мирового и отечественного опыта создания КСУ техническими средствами и применения современных технологий позволил сконцентрировать усилия на следующих направлениях исследований.

- Разработка перспективных алгоритмов управления движением МПО на базе современных методов управления и методов искусственного интеллекта.
- Разработка компьютерной технологии создания перспективных распределенных систем управления МПО и исследование их эффективности с помощью методов полномасштабного имитационного моделирования.
- Совершенствование методов имитационного моделирования, реализующих разработанную компьютерную технологию путем создания аппаратных, алгоритмических и программных средств для построения сетевого компьютерного стенда.
- Разработка методики построения системы визуализации пространственного движения МПО и работы всех ТСУ для основных исследуемых режимов, а также отображения внешней обстановки и действующих возмущений.
- Разработка методики построения перспективных компьютерных тренажерных систем и реализации современной методики обучения операторов с помощью интеллектуальных средств поддержки принятия решений.

Выполнение исследований по этим направлениям потребовало не только применения известных методов и подходов, но и разработки новых методик и алгоритмов, а также модификации отдельных известных методов и алгоритмов в целях повышения эффективности их применения с учетом специфики управления МПО.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОСНОВНЫЕ РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ

При проведении исследований в рамках указанных направлений применялись следующие методы построения управления:

- принцип максимума Л.С. Понтрягина и исследование на его основе экстремальных свойств оптимального управления МПО;
- синтез субоптимального замкнутого многовязного управления МПО на основе исследования экстремальных свойств оптимального управления, использования эталонных моделей и предикторного управления;

— методы фильтрации и прогнозирования для оценки внешних возмущений и выявления нештатных ситуаций;

— методы математического программирования для определения альтернативных вариантов управления МПО с учетом ресурсных ограничений и при возникновении нештатных ситуаций;

— методы полномасштабного имитационного моделирования для отработки КСУ техническими средствами и обучения операторов;

— методы инженерной психологии и искусственного интеллекта в системах поддержки принятия решений в процессе управления МПО.

Были решены следующие основные задачи [1–7]:

— разработка алгоритмов программного оптимального управления движением МПО на основе принципа максимума и методов математического программирования;

— разработка субоптимальных алгоритмов координированного управления МПО с учетом полных моделей объекта, экстремальных свойств оптимального управления и основных технических и ресурсных ограничений ТСУ;

— синтез алгоритмов замкнутого управления МПО с учетом требований сложности реализации и исследование эффективности применения алгоритмов на полных имитационных моделях;

— получение сравнительных оценок эффективности применения различных алгоритмов управления движением типовых МПО в нормальных и аварийных условиях эксплуатации;

— разработка компьютерной технологии автоматизации отработки алгоритмов, отдельных подсистем управления движением МПО и автоматизации испытаний работы алгоритмического и программного обеспечения КСУ;

— разработка методики формирования и реализации полной имитационной модели движения объекта, воздействия среды и работы ТСУ с помощью объектно-событийного подхода и методов конфигурирования;

— создание аппаратно-программных комплексов (сетевых стендов имитационного моделирования) для реализации основных задач компьютерной технологии и автоматизации исследований;

— разработка системы визуализации внешней обстановки, пространственного движения МПО и работы технических средств управления (визуализация движения объекта при автоматическом, полуавтоматическом и дистанционном управлении с применением полномасштабных математических моделей движения; построение подсистемы создания виртуальной реальности (СВР) для поддержки работы КСУ и обучения операторов постов управления МПО);

— разработка методики динамического формирования сценариев работы СВР в КСУ техническими средствами и тренажерных системах при обу-



чении операторов управлению МПО в нормальных и аварийных режимах эксплуатации;

— разработка современных компьютерных систем обучения операторов и средств поддержки принятия решений, конфигурируемых для конкретных проектов.

3. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Результаты выполненных исследований позволили создать соответствующие комплексы аппаратно-программных средств, с помощью которых был разработан ряд прототипов и опытных образцов основных подсистем КСУ техническими средствами МПО и тренажерных систем для обучения операторов постов управления конкретными проектами МПО.

Фрагменты реализации на сетевом стенде имитационного моделирования разработанной компьютерной технологии, использованной при отработке алгоритмов координированного управления пространственным движением МПО в нормальных и аварийных режимах эксплуатации и при создании компьютерного тренажера для одного из проектов, приведены на рис. 1—3 (см. вклейку к с. 103) [2—7].

Рис. 1 иллюстрирует управление МПО в нештатной аварийной ситуации при затоплении четвертого отсека и управлении комплексом технических средств — горизонтальными рулями, цистернами главного балласта и изменением скорости хода МПО в режиме «совета оператору». При этом управление горизонтальными рулями и скоростью хода осуществляется автоматически, а управление балластом может быть автоматическим или дистанционным с пульта оператора. На рис. 2 приведена визуализация координированного управления пространственным движением МПО с помощью вертикальных, горизонтальных кормовых и носовых рулей, а также путем изменения скорости хода в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах. На рис. 3 представлен фрагмент работы системы обучения операторов постов управления движением МПО на заданной пространственной траектории с использованием прогноза движения по траектории, работы системы визуализации и представлением зон безопасного управления при заданных ограничениях.

Показанные фрагменты приведены для иллюстрации тех больших потенциальных возможностей применения компьютерных технологий и для создания высокоэффективных КСУ техническими средствами МПО, и для построения и применения современных тренажерных систем обучения операторов постов управления МПО.

4. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В заключение перечислим основные научные и практические результаты выполненных работ.

- Исследованы специфические особенности динамики движения МПО различных типов в условиях многорежимного и многоканального координированного управления в нормальных, аварийных и специальных режимах эксплуатации, верифицированы нелинейные модели ряда типовых объектов по результатам натурных испытаний; полученные модели использованы при отработке эффективных алгоритмов управления МПО.

- Предложена и исследована структура перспективной интегрированной распределенной системы управления движением МПО, в состав которой входят встроенные системы: имитационного моделирования, совета оператору, интеллектуальной поддержки принятия решений, СВР. Последняя из них — СВР — служит для динамического отображения пространственного поведения подводного объекта, его текущей и прогнозируемой траекторий, предельных безопасных управлений, внешней обстановки, работы ТСУ и действия различных типов возмущений на МПО в нормальных и аварийных условиях.

- Разработаны и исследованы алгоритмы координированного управления МПО с учетом взаимодействия различных постов управления МПО, возможностей реализации принципов альтернативного управления МПО, имеющихся фактических ресурсов ТСУ и эффективности их применения в реальных ситуациях.

- Разработана методика построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений, встроенных систем имитационного моделирования, виртуальной реальности и СВР для КСУ техническими средствами на базе типовых проектных решений и эффективного применения этих систем как при управлении объектом, так и при обучении операторов постов управления МПО на базе и на бортовом тренажере, встраиваемом в КСУ.

Результаты научных и методических исследований позволили выполнить по заказам ведущих научно-производственных и проектных организаций ряд НИР и ОКР по отработке перспективных алгоритмов и систем координированного управления конкретными проектами, в том числе:

- по заданию НПО «Аврора» разработан сетевой стенд имитационного моделирования для отработки алгоритмов управления для перспективных КСУ и модернизации существующих систем управления МПО (ОКР «Имитация — ИПУ»);

- разработана компьютерная технология и соответствующее программное и методическое обеспечение для ее реализации, позволяющее отрабатывать на сетевом стенде имитационного моделирования перспективные алгоритмы управления МПО;



Исследования по созданию перспективных систем управления морскими подвижными объектами и разработке тренажерных систем (иллюстрации к статье В.Г.Борисова, С.К.Даниловой, В.О.Чинакала, см. стр. 103–106)

Рис. 1
Пробоина прочного корпуса –
аварийная задача

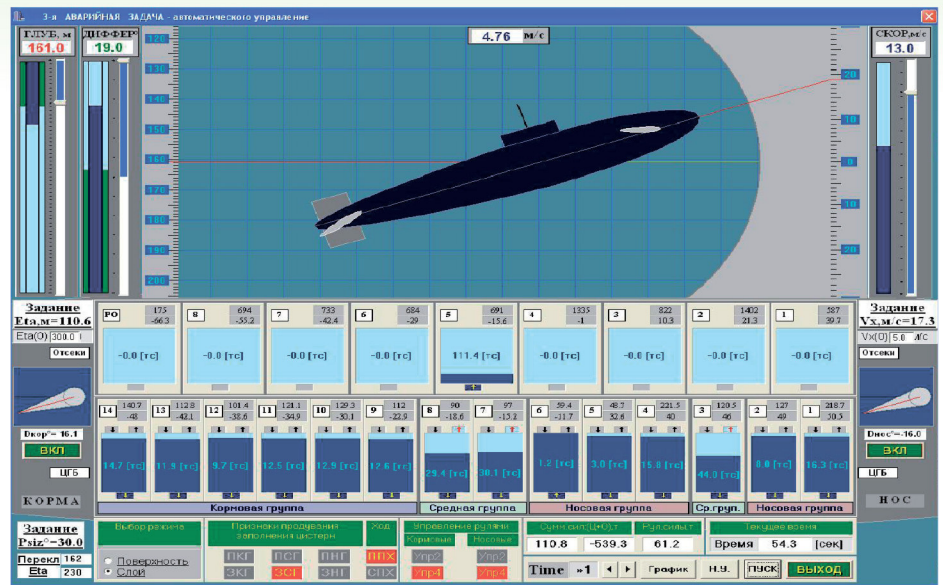


Рис. 2
Координированное
пространственное
маневрирование

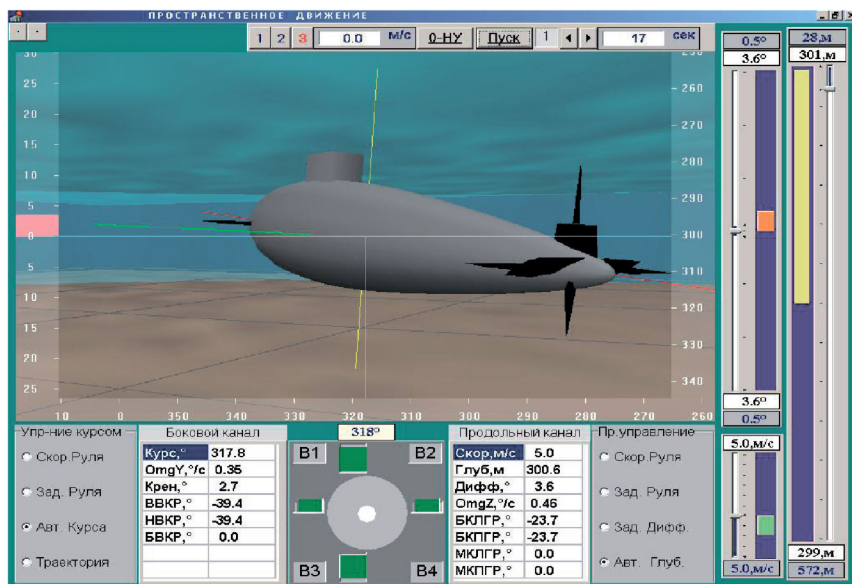
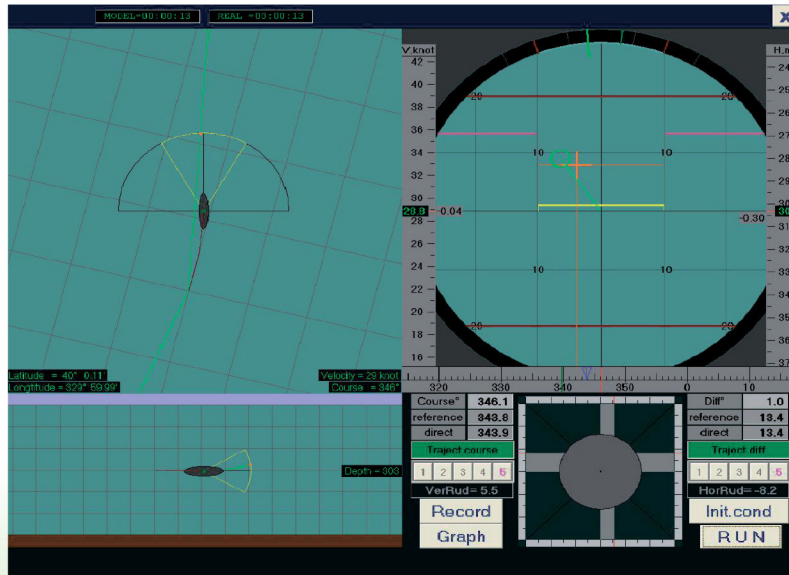


Рис. 3
Применение прогноза
и совета для безопасного
управления по траектории



— выполнены испытания рабочих алгоритмов координированного управления для бортовых систем управления конкретными заказами — «Ясень» и «1710» СПМБМ «Малахит», «Акула» ЦКБ «Рубин» и «Нельма», ЦКБ «Лазурит»;

— разработана система визуализации трехмерного движения МПО по проекту «Лада», демонстрировавшаяся в составе экспозиции НПО «Аврора» на международном военно-морском салоне «IMDS — 2003»;

— по заказу НИТИ им. А.П. Александрова разработан компьютерный тренажер для обучения операторов постов управления движением МПО «Ясень» в составе комплексного компьютерного тренажера управления данным заказом. Тренажер сдан в эксплуатацию.

В целом выполнение данного цикла исследований и ряда НИР и ОКР направлено на поиск путей создания нового поколения перспективных систем управления МПО, обеспечивающих существенное повышение безопасности, точности и качества управления данным классом МПО в режимах нормальной и аварийной эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов В.Г., Данилова С. К., Чинакал В.О. Создание и применение компьютерной технологии повышения безопасности управления морскими подвижными объектами // Проблемы управления. — 2007. — № 4. — С. 79—84.

2. Сетевой комплекс для разработки и исследования эффективности систем управления движением подводных объектов / В.М. Корчанов, В.Г. Борисов, С.К. Данилова, В.О. Чинакал // Тр. Междунар. конф. по морским интеллектуальным технологиям «Моринтех — 2001». — СПб.: НИЦ «МОРИНТЕХ», 2001.
3. Комплексная отработка режимов координированного управления движением подводной лодки на этапе проектирования и при обучении операторов постов управления на тренажерах / В.М. Корчанов, В.Г. Борисов, С.К. Данилова, В.О. Чинакал // Тр. 4-й Междунар. конф. «NSN — 2007». — СПб.: «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова», 2007.
4. Данилова С.К. Один подход к определению области достижимости вектора Ψ_0 для решения задач управления по принципу максимума // Тр. 4-й Междунар. конф. по проблемам управления. — М.: ИПУ, 2009. — С. 201—206.
5. Борисов В.Г., Данилова С.К., Чинакал В.О. Компьютерный понятийный тренажер для обучения операторов управления подводным объектом // Тр. 4-й Междунар. морского салона «IMDS — 2003». — СПб.: ЛЕНЭКСПО, 2003.
6. Интеллектуальная система поддержки принятия решений для интегрированных систем управления и навигации морскими подвижными объектами / В.Г. Борисов, С.К. Данилова, В.О. Чинакал // Тр. XI Санкт-Петербургской междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. — СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2004.
7. Borisov V.G., Danilova S.K., Chinakal V.O. About Building of The Integrating System of Navigation, Management and Educating the Operators with Use of Intellectual Methods of Control // 12th Saint Peterburg Int. Conf. on Integrated Navigation Systems. — St Peterburg, 2005.



Борисов Владимир Георгиевич — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник ИПУ. Автор более 60-ти научных работ по созданию алгоритмических структур управления подвижными морскими и авиационными объектами и тренажеров для обучения операторов, ответственный исполнитель шести ОКР по заказу ведущих морских бюро. ☎(495) 334-92-40, ✉L57_1@ipu.ru.



Данилова Светлана Кузьминична — канд. техн. наук., вед. науч. сотрудник ИПУ. Автор более 50-ти научных работ по созданию алгоритмических структур управления подвижными морскими объектами и тренажеров для обучения операторов, научный руководитель девяти ОКР по заказу ведущих морских бюро. ☎(495) 334-92-40, ✉L57_1@ipu.ru.



Чинакал Вячеслав Олегович — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник ИПУ. Автор более 60-ти научных работ по созданию систем управления промышленными объектами в классе непрерывных технологических процессов и по разработке алгоритмических структур управления подвижными морскими объектами и тренажеров для обучения операторов, ответственный исполнитель трех ОКР. ☎(495) 334-90-21, ✉chinakal@ipu.rssi.ru.