

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛАССОМ МОРСКИХ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ¹

С.Н. Васильев, С.К. Данилова (Москва)

Введение

В работе рассматриваются вопросы создания проблемно-ориентированной системы имитационного моделирования (СИМ) как метода исследования и проектирования сетевой автоматизированной комплексной системы управления классом сложных динамических морских подводных объектов (КСУ ТС МПО) в нормальных, специальных и аварийных условиях эксплуатации, в режиме «Совет». Интеллектуализированная среда моделирования в СИМ реализована в аппаратно-программном комплексе (АПК) на основе пакета Borland C++ Builder с иммерсионной средой моделирования и интеллектуальным интерфейсом исследователя-прикладника с имитацией динамической системы управления МПО на АПК.

Имитационное моделирование, как известно, является методом исследования управления сложными объектами. Морские подвижные объекты (МПО) относятся к классу сложных эргатических динамических объектов и имеют целый ряд характерных особенностей в управлении.

Рассматривается исследование по управлению аварийным МПО. Управление зависит от многих факторов – расположение аварийного отсека, начальная скорость движения (Vx_0), глубина (η_0), площадь аварии (S_0), интенсивность управления с помощью гидродинамических рулей и балластного управления в цистернах главного балласта (ЦГБ). Управление осуществляется согласованно с различных постов МПО и имеет сетевой характер. В работе рассматривается традиционное управление гидродинамическими рулями (в режимах «автомат» и «полуавтомат») и ситуационное управление балластом в ЦГБ. Исследуются события (аварийные отсеки) и ситуации, соответствующие этому событию в зависимости от Vx_0 , S_0 , η_0 . Одному событию соответствует множество ситуаций. Исследование множеств событий и управления в них определяет базу знаний по событиям и ситуациям. В данной работе рассматривается только определение базы знаний по сетевому ситуационному управлению МПО. Дальнейшее развитие работы предполагает реализацию ситуационного управления в режиме «совет» по мониторингу текущего фазового движения МПО на основе агентных технологий.

Особенности эксплуатации МПО

Отметим следующие основные особенности динамической системы по управлению МПО:

наличие нелинейной математической модели движения МПО (система нелинейных дифференциальных уравнений высокой размерности, включающая подсистемы алгебраических уравнений), сложных нелинейных моделей работы технических средств и систем управления с общим высоким порядком полной модели (в некоторых сложных режимах более 300);

наличие многомерного и многосвязного управления, осуществляемого с различных постов управления;

сложная структура связей «объект – технические средства управления – система управления (КСУ ТС) – возмущения внешней среды и от аварии»;

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 12-08-00769-а

Пленарные доклады

технические средства управления используют различные гидродинамические и гидростатические принципы создания управляющих сил и моментов с различной эффективностью управления в нормальных и аварийных режимах,

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

необходимость обеспечения координированного управления объектом в автоматическом, полуавтоматическом и дистанционном режимах;

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

требования обеспечения повышенной безопасности и точности управления МПО в сложных условиях плавания;

обеспечение высокого уровня подготовки операторов постов управления МПО и обеспечение для них оперативной поддержки принятия решений – в режиме «Совет»;

обеспечение альтернативного управления МПО при отказах технической системы управления (ТСУ) и возникновении аварийных ситуаций.

Направления исследований

С учетом этих особенностей были проведены разработки и исследования по созданию перспективных КСУ ТС МПО, включающих подсистему «Совет». Основной целью проведения исследований было существенное повышение эффективности и безопасности управления МПО, закладываемое на этапе проектирования КСУ ТС. Для реализации поставленной цели потребовалось выполнить исследования по ряду взаимосвязанных направлений:

1. Исследование и разработка перспективных алгоритмов управления движением МПО по режимам движения осуществляется на базе методов теории оптимального управления, линейного программирования, прогнозирования, инженерной психологии, ситуационного управления и метода полномасштабного имитационного моделирования.

2. Разработка компьютерной интеллектуализированной технологии (КТ) создания перспективных сетевых систем управления МПО и исследование эффективности их применения на основе сетевого полномасштабного имитационного моделирования. При этом среди моделирования и интерфейс исследователя-прикладника являются интеллектуальными и иммерсивными¹.

Особенностями иммерсивных сред и интерфейса – наличие возможности управлять всеми параметрами имитационной модели движения МПО со стороны исследователя. С использованием таких сред

3. Разработка системы визуализации пространственного движения МПО и работы всех технических средств управления для основных исследуемых режимов, а также отображения внешней обстановки и действующих возмущений².

4. Создание сетевого аппаратно-программного комплекса, реализующего СИМ (рис. 1).

¹ Особенностями иммерсивных сред и интерфейса – наличие возможности управлять всеми параметрами имитационной модели движения МПО со стороны исследователя. С использованием таких сред исследователь может получить качественные и количественные оценки управления в реальном и ускоренном масштабах времени.

² Отметим, что представление исследования на основе виртуальной реальности в иммерсивной среде моделирования позволяет создать у прикладника-исследователя ощущение присутствия на МПО.

Пленарные доклады

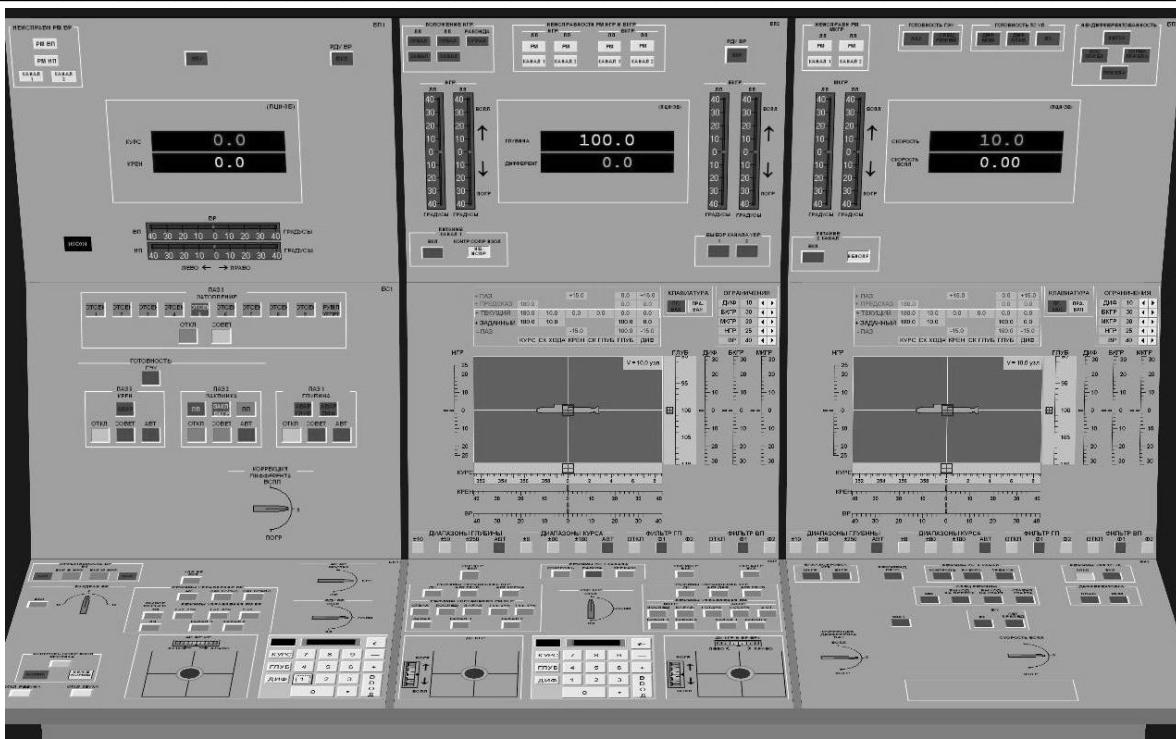


Рис. 1. Аппаратно-программный комплекс полномасштабного имитационного моделирования

СИМ реализована в аппаратно-программном комплексе на основе пакета Borland C++ Builder с иммерсионной средой моделирования и интеллектуальным интерфейсом исследователя-прикладника с СИМ.

Отображение на панелях АПК соответствует отображениям на панелях постов управления в МПО.

Проектирование управления аварийным МПО в режиме «Совет»

В докладе подробно рассмотрим вопросы проектирования управления МПО в режиме «Совет» для аварийной задачи. Режим «Совет» по управлению аварийным МПО может быть реализован на борту корабля. Для управления МПО в этом режиме входной является информация о значениях фазовых координат с модуля мониторинга системы. Блок-схема сетевого взаимодействия операторов управления при решении задачи противоаварийного управления представлена на рис. 2.

Блок-схема информационного обеспечения поста управления представлена на рис. 3. Обозначения на блок-схемах:

ИО – исполнительные органы;

СИП – система информационной поддержки;

ФИП – функции интеллектуальной поддержки;

САУ – система автоматического управления;

Пленарные доклады

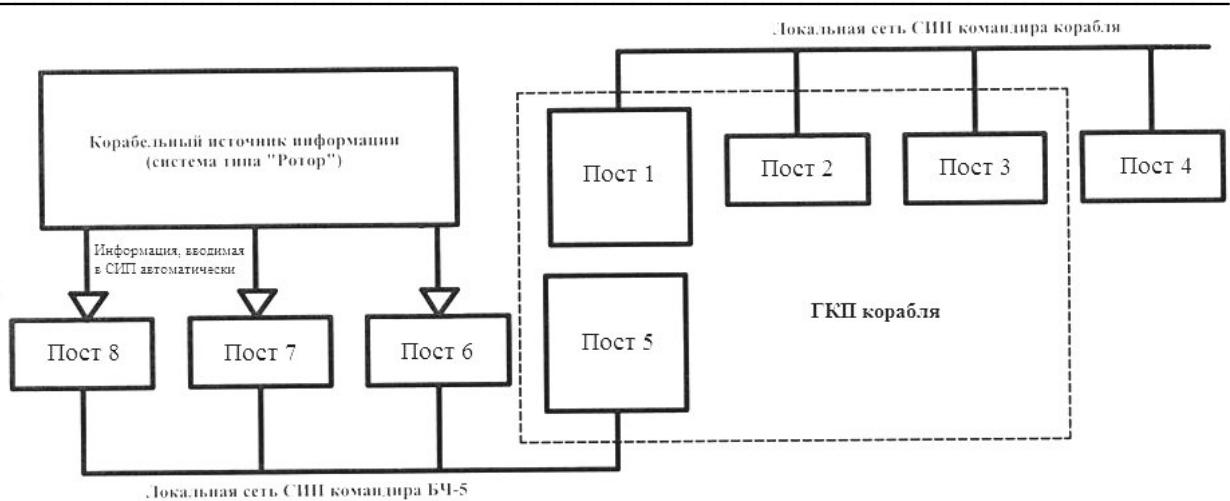


Рис. 2. Схема информационных связей автономных систем информационной поддержки (СИП)

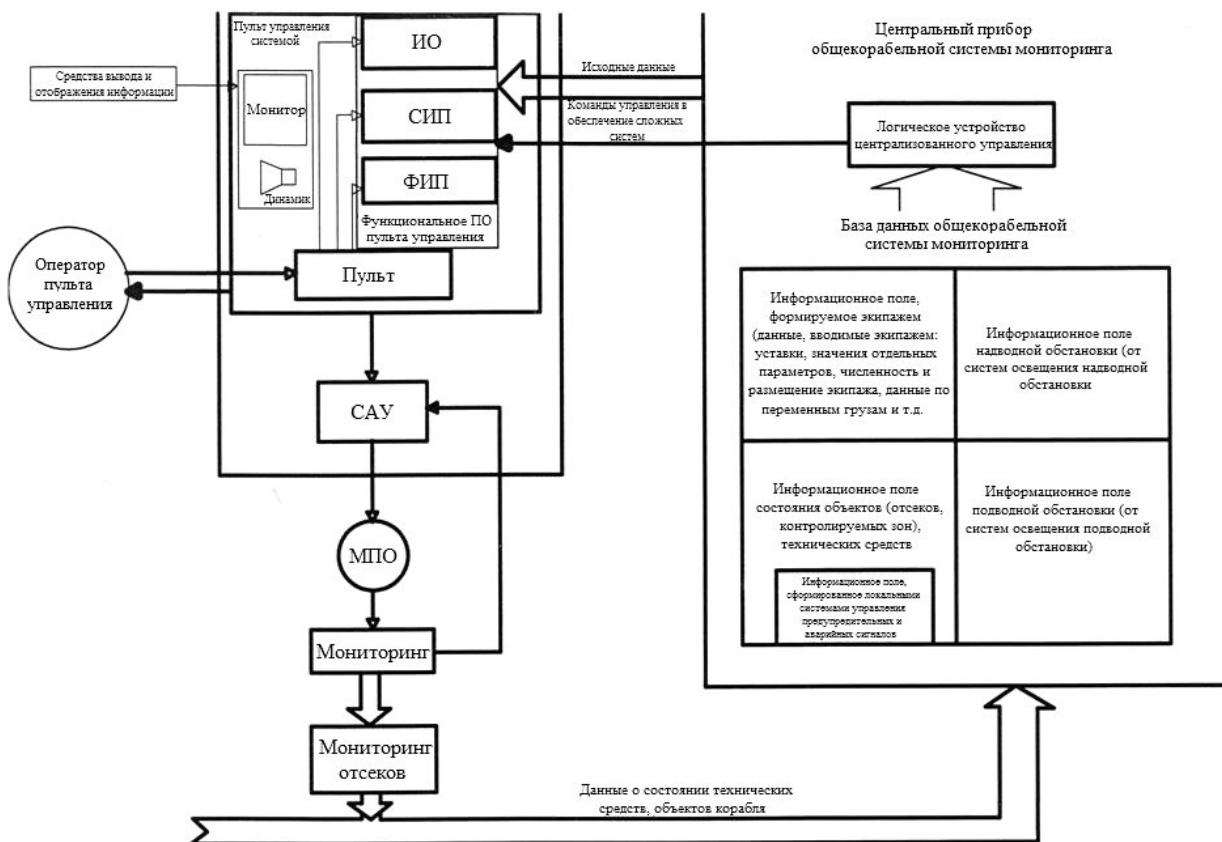


Рис. 3. Укрупненная схема информационных связей встроенных и интегрированных СИП

Дистанционное управление в режиме «Совет» реализуется на основе визуальной интерпретации рекомендуемых согласованных действий операторов управления на различных постах по включению необходимого набора технических средств управления (ТСУ) для парирования возмущений от аварии. Образ задачи представлен на рис. 4.

Пленарные доклады

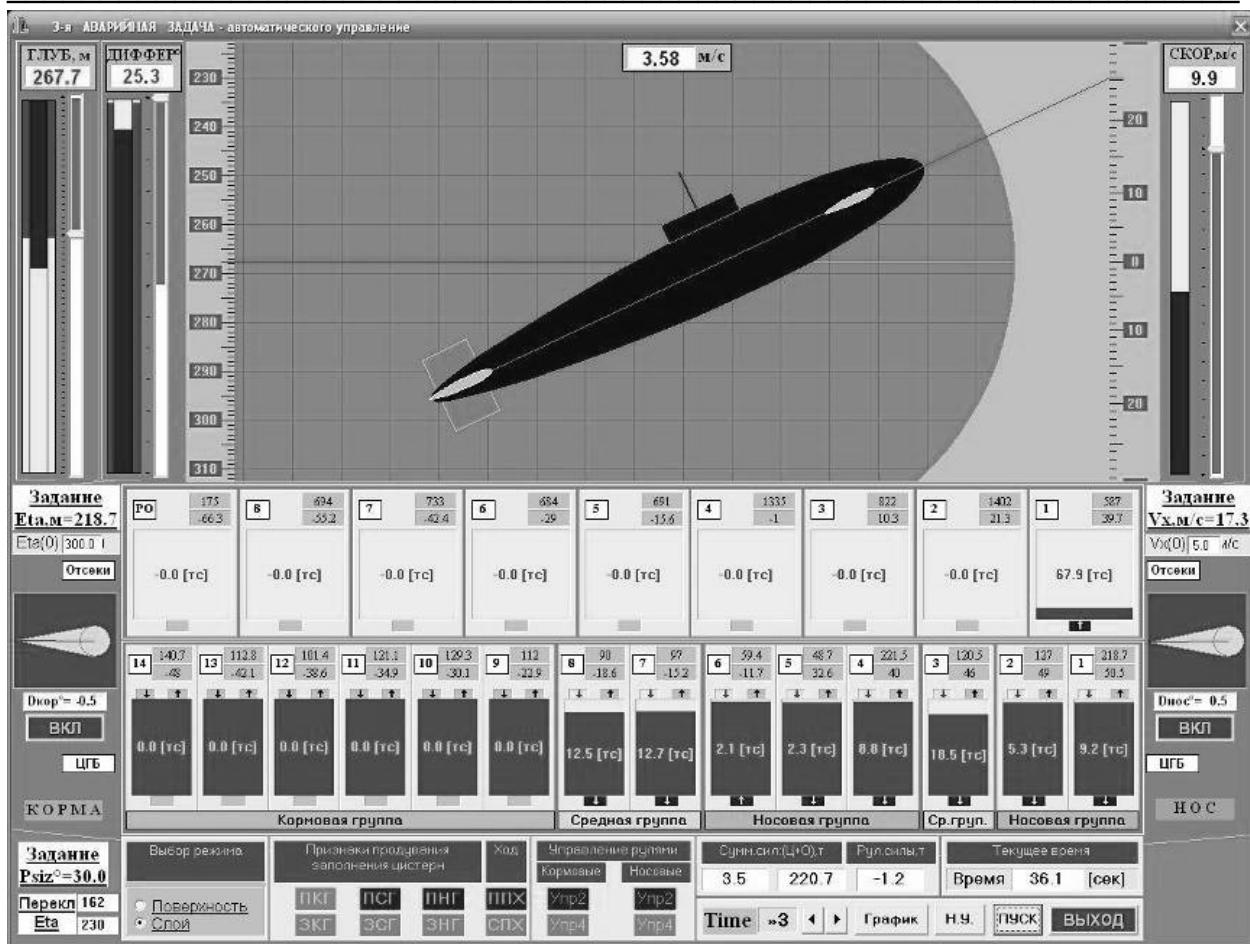


Рис. 4. Виртуальный образ решаемой задачи

В сложном многоярусном образе представлено динамическое движение аварийного объекта, барграфы изменения фазовых переменных (глубины, дифференты, скорости движения МПО) цифровой индикатор скорости всплытия МПО, отсеки (в том числе и отсек с пробоиной), барграфы работы гидродинамических кормовых и носовых рулей, цистерны главного балласта (ЦГБ), операции управления балластами в ЦГБ для компенсации отрицательной плавучести от затопления отсека, индикация сумм топящих сил от заполнения отсека и компенсационного управления от работы рулей и создания положительной плавучести в ЦГБ. Управление является сетевым и осуществляется взаимосвязано с 4-х постов управления.

Компенсация аварии осуществляется за счет создания положительной плавучести в цистернах главного балласта (ЦГБ) включением арматур (клапаны продувания, кингстоны, клапаны стравливания). Воздух высокого давления к клапанам продувания подается из баллонов, наполненных воздухом высокого давления. На каждую группу цистерн (носовую, среднюю, кормовую) количество баллонов ограничено. Дифферент движения МПО создается с помощью гидродинамических носовых и кормовых рулей в полуавтоматическом режиме с одновременным увеличением скорости хода в главной энергетической установке. Авария может произойти в любом отсеке и с различным диаметром пробоины на любой глубине движения МПО и начальной скоростью движения. Таким образом, спасение аварийного МПО осуществляется одновременно по 3-м каналам – увеличением скорости хода, созданием максимального дифферента и созданием положительной плавучести в ЦГБ. Это следует из кинематического уравнения движения МПО:

$$\dot{\eta} = -[\nu_{x1} \cdot \sin\psi + \cos\psi \cdot (\nu_{y1} \cdot \cos\theta - \nu_{z1} \cdot \sin\psi)] \quad (1)$$

Пленарные доклады

где: $\dot{\eta}$ – скорость всплытия МПО по глубине в безопасный слой;

Ψ – дифферент;

v_{y_1} – вертикальная составляющая скорости всплытия.

В работах ИПУ РАН рассматривались некоторые аспекты решения поставленной задачи. В данной работе рассматривается организация уровня управления аварийным МПО по мониторингу текущего состояния объекта в режиме «Совет».

Для организации управления по мониторингу текущего состояния создается база знаний по возможным событиям, ситуациям в этих событиях и управлению в каждой ситуации. Исследования проводятся в иммерсивной среде полномасштабного имитационного моделирования с интеллектуальным интерфейсом исследователя (рис. 5).



Рис. 5. Функциональная блок-схема программного обеспечения СИМ

Для рассматриваемой прикладной проблемы ситуационное управление и количество ситуаций определяются многими факторами – количеством отсеков (события), площадью пробоины, значением глубины и скорости движения объекта в момент возникновения аварии, разгонными характеристиками увеличения скорости движения, эффективностью гидродинамического управления (кормовые и носовые горизонтальные рули) по созданию максимального дифферента всплытия, эффективностью гидробалластного управления по созданию положительной плавучести в ЦГБ. Положительная плавучесть в ЦГБ, в свою

Пленарные доклады

очередь, определяется характеристиками и количеством арматур (клапана продувания, клапана вентиляции, кингстонов, шпигатов, баллонов воздуха высокого давления) и т. д. Составим таблицу места и величины аварии (пробоины), сил по созданию положительной компенсационной плавучести, факторов, определяющих всплытие МПО в безопасный слой (рис. 6) (из уравнений движения МПО и из уравнений работы технических средств управления). Для решения поставленной задачи – создания базы знаний по ситуациям управления определено 312 факторов, кроме того, необходимо рассчитать глубину, по достижении которой необходимо списывать дифферент. Это определяется также многими факторами (начальная глубина и скорость движения МПО в момент возникновения аварии, величина пробоины, эффективность технических средств управления).

Носовые ЦГБ: (1,2,4,5,6)															Средние ЦГБ: (3,7,8)															Кормовые ЦГБ: (9,10,11,12,13,14,15)								Параметры алгоритма	
																														Vy.возв	-1.7								
																														Vy.зона	0.5								
																														Рз.зона	0.01								
• ЦГБ •	• 1 •	• 2 •	• 3 •	• 4 •	• 5 •	• 6 •	• 7 •	• 8 •	• 9 •	• 10 •	• 11 •	• 12 •	• 13 •	• 14 •	• 15 •																								
Балл.	2	5	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2																								
Кл.прод.	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1																								
Т.прод.	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25																								
Кинг.	4	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2																								
С.кин	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2																								
Мю.кин	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6																								
Т.кин	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5																								
Вент.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																								
S.вен	0.0705	0.0705	0.0705	0.0705	0.0705	0.0705	0.0705	0.0705	0.0705	0.0705	0.0705	0.0705	0.0705	0.0705	0.005																								
Мю.вен	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5																								
T.вен	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5																								
Vц	218.66	126.94	120.47	221.45	48.66	59.4	96.98	89.96	111.97	129.3	121.12	101.44	112.78	140.74	40.39																								
Xц	50.52	48.85	45.88	40.07	32.59	-11.7	-15.21	-18.63	-22.88	-30.07	-34.91	-38.56	-42.14	-47.96	-49.87																								
Yц	-0.65	-0.09	0.17	-1.06	-0.01	-0.41	-0.017	-1.3	0.33	-1.04	0.11	-0.72	-0.92	-0.32	-3.31																								
Zц	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
Испр.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																								
• ОТСЕКИ •	• 1 •	• 2 •	• 3 •	• 4 •	• 5 •	• 6 •	• 7 •	• 8 •	• РО •																														
Прот.	1	0	0	0	0	0	0	0	0																														
S.прот	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0																														
Мю.прот	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6																														
T.прот.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1																														
Vo	587	1402	822	1335	691	684	733	694	175																														
Xo	36.69	21.34	10.33	-1.04	-15.62	-29	-42.36	-55.17	-66.33																														
Yo	-0.21	-0.14	-0.19	0.28	-0.46	0.05	-0.13	-0.15	0.02																														
Zo	0	0	0	0	0	0	0	0	0																														

<div style="position: absolute; left: 740px; top: 1320px; width: 100px

Пленарные доклады

5. По мере уменьшения глубины по уставкам прекращается продувание групп ЦГБ, а иногда включается их заполнение в зависимости от изменения фазовых координат движения МПО.

При выходе объекта в безопасный слой достигнута высокая скорость движения МПО и стабилизация движения в слое осуществляется с помощью управления носовыми и кормовыми горизонтальными рулями по заданию удержания глубины 100 м.

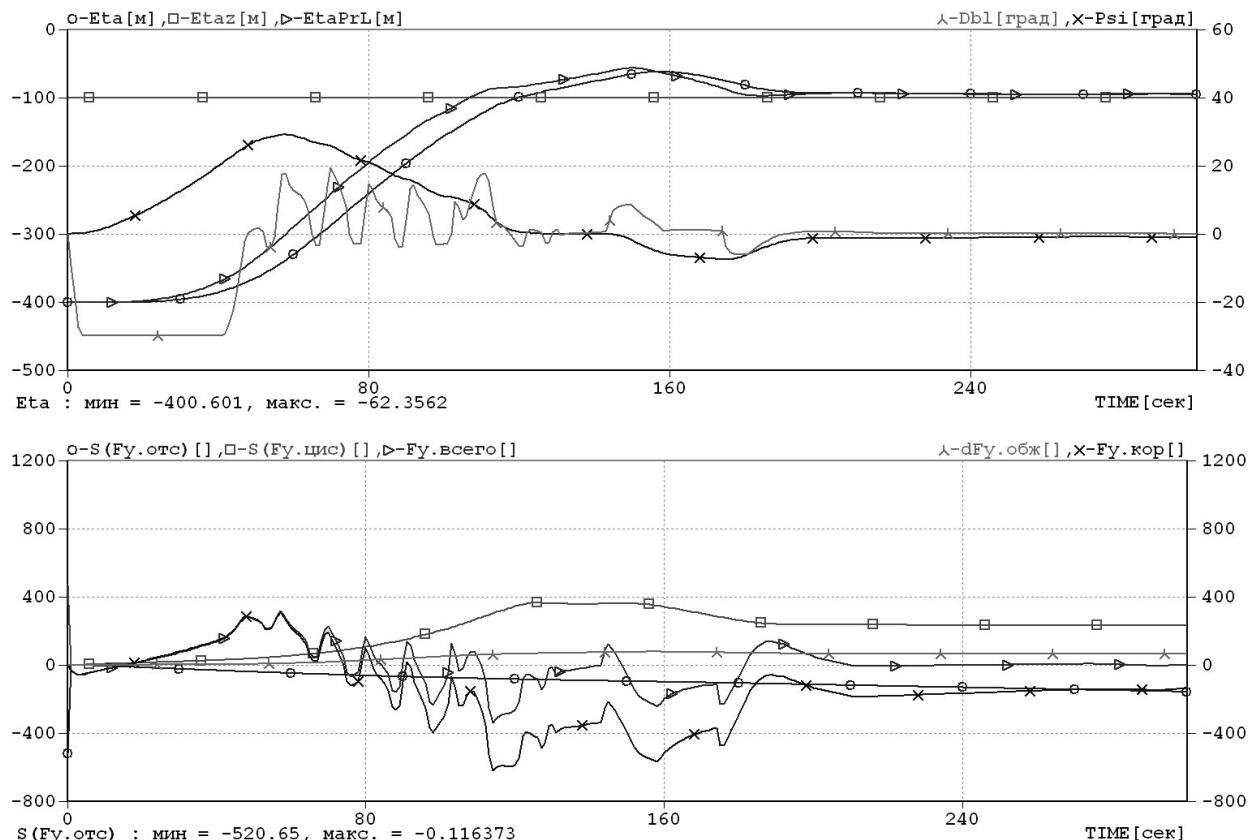


Рис. 7. Пробоина в первом отсеке площадью 0,05 м², глубина аварии – 400 м

На рис. 8 представлена ситуация, когда авария произошла на глубине 400 м, площадь пробоины 0,65 м² (в 15 раз больше, чем в первом варианте). Спасение аварийного МПО в безопасный слой становится гораздо сложнее. В течение 120 с после включения противоаварийного управления МПО продолжает погружаться по глубине на 200 м – это очень опасная ситуация. Исследование показало, что для спасения аварийной МПО при площади пробоины больше 0,6 м² необходимо увеличивать эффективность продувания ЦГБ или подключать дополнительно другие технические средства.

На рис. 9 представлены различные ситуации по изменению начальной скорости движения для одного события – пробоина в первом отсеке для различных значений площади пробоины (интенсивности аварии).

Аналогично строятся ситуации при изменении начальной глубины возникновения аварии и начальной скорости движения. Множество ситуаций строится дискретно по начальной глубине возникновения аварии и начальной скорости хода. Любое промежуточное значение этих переменных определяется по аналогии с двумя соседними.

На рис. 10 представлены различные ситуации при спасении аварийного МПО при изменении начальной скорости движения для того же события.

Пленарные доклады

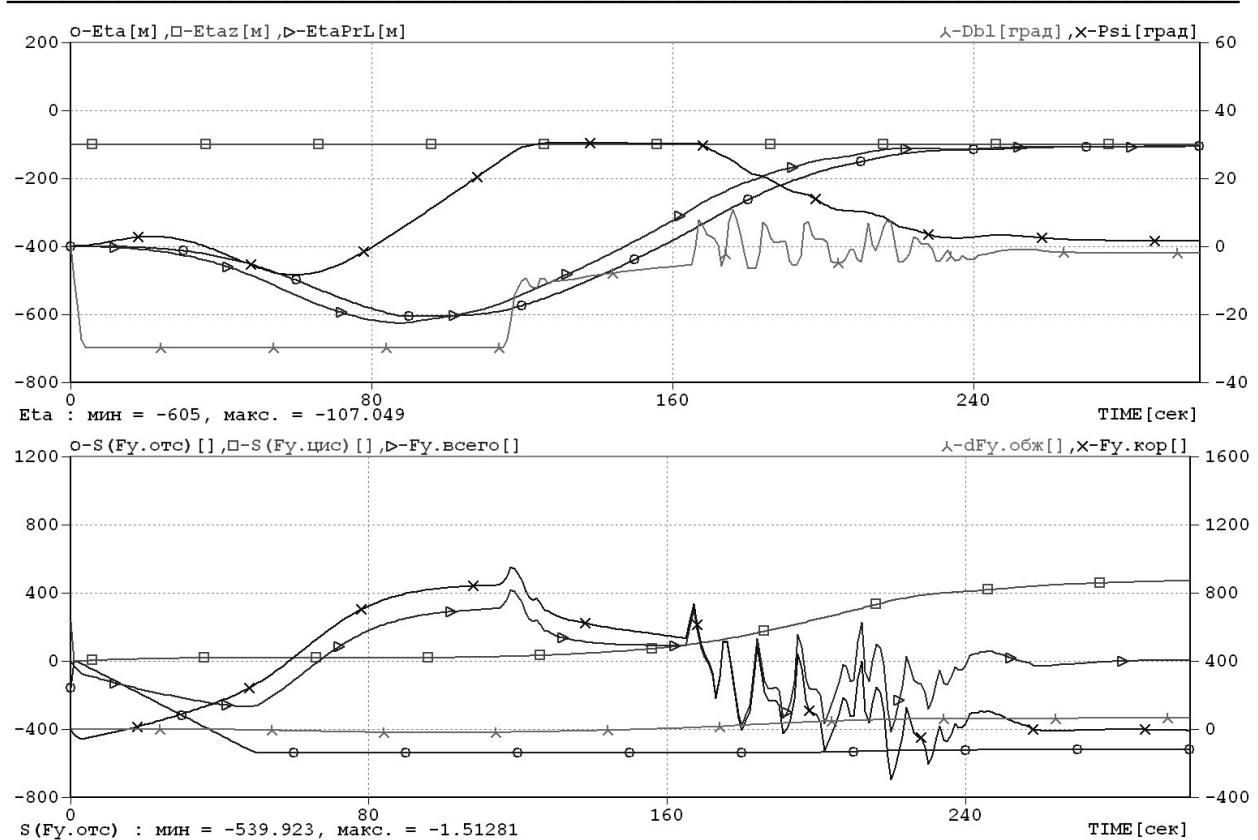


Рис. 8. Пробоина в первом отсеке площадью 0,65 м², глубина аварии – 400 м

Число событий определяется однозначно числом отсеков. Множество ситуаций по событию определяется по методологии построения этих ситуаций в зависимости от многих перечисленных факторов на АПК. Управление в каждой ситуации имеет логико-динамический характер (разработана методика). Множество всех событий и ситуаций определяет базу знаний.

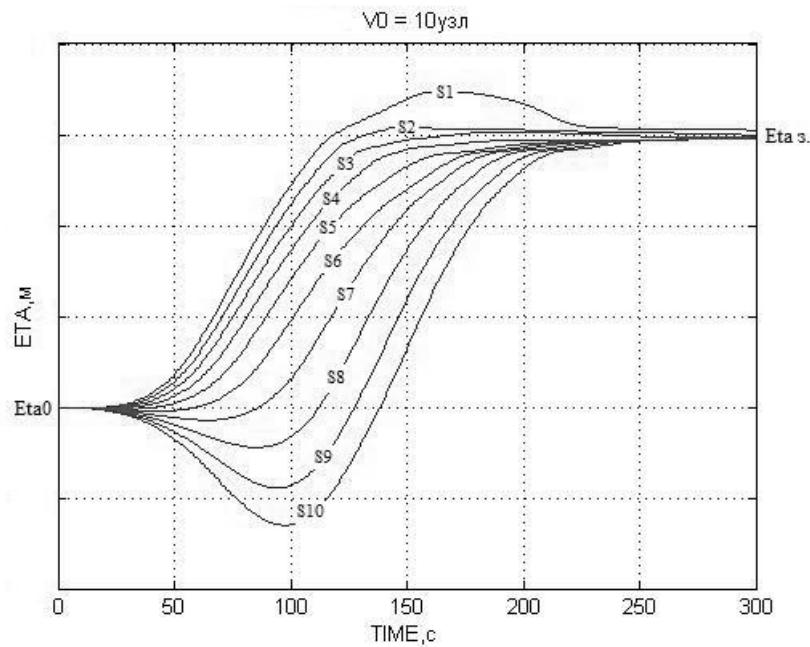


Рис. 9. Влияние различных площадей аварии на траекторное всплытие аварийного объекта

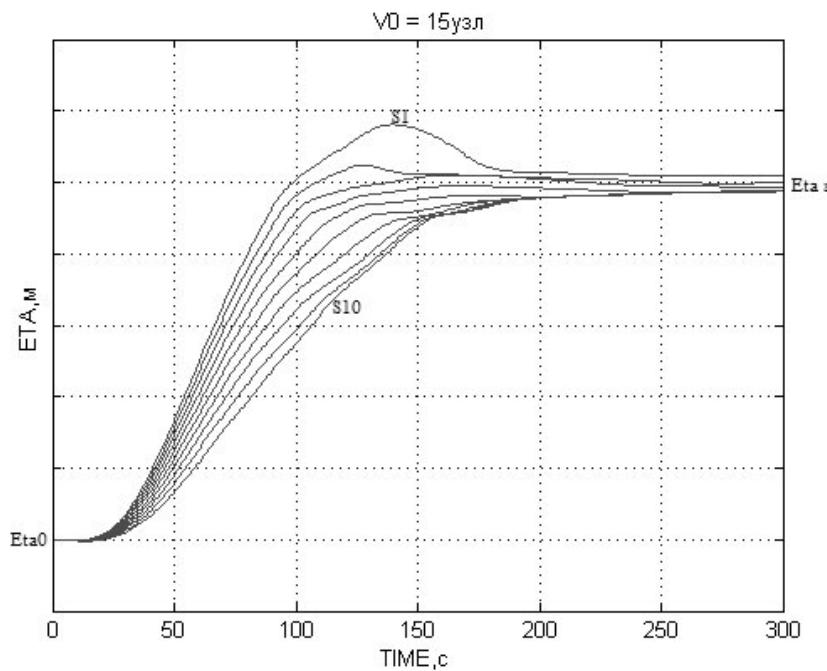


Рис.10. Влияние начальной скорости движения МПО при возникновении аварии на траекторное всплытие аварийного объекта

Выводы

Можно заключить, что созданный сетевой аппаратно-программный комплекс позволяет решить задачу создания базы знаний для ситуационного управления при различных авариях. Иммерсивная среда полномасштабного имитационного моделирования и интеллектуальный интерфейс исследователя-прикладника позволяют объективно создать базу знаний о возможных ситуациях и управлении в этих ситуациях.

Дальнейшее развитие работы – определение агентного подхода для реализации ситуационного управления на борту МПО в режиме «Совет».

Литература

1. Борисов В.Г., Данилова С.К., Чинакал В.О. Создание и применение компьютерных технологий для повышения безопасности управления морскими подвижными объектами // Проблемы управления. Специальный выпуск. – 2007. – № 4.
2. Борисов В.Г., Данилова С.К., Чинакал В.О. Исследования по созданию перспективных систем управления морскими подвижными объектами и разработке тренажерных систем // Проблемы управления. Специальный выпуск. – 2009. – № 3.1. – С. 103–106.
3. Борисов В.Г., Данилова С.К. Среда моделирования для создания интеллектуальных средств поддержки операторов управления морскими подводными объектами // Сборник материалов Седьмой всероссийской науч.-практ. конф. «Перспективные системы и задачи управления». – 2012. – С.254–260.
4. Борисов В.Г., Данилова С.К., Чинакал В.О. Применение средств виртуальной реальности при создании комплексных тренажеров и систем управления // Труды IX Международной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта CAD/CAM/PDM 2009». ИПУ РАН. – М., 2009. С.37–42.
5. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: Современный подход. – М., СПб., Киев: Изд. дом. «Вильямс», 2006.

Пленарные доклады

6. **Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунов Б.Е.** Интеллектное управление динамическими системами. – М.: Физико-математическая литература, 2000.
7. **Юсупов Р.М.** Национальное общество имитационного моделирования России – начало пути // CAD/CAM/CAE Observer #2 (70). 2012.
8. **Рыжиков Ю.И., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Проблемы теории и практики имитационного моделирования. // Сб. докладов ИММОД-2007. – СПб., 2007. – Т.1. – С.58–70.
9. **Кириллов Н.П.** Концептуальная модель процессов управления функциональными состояниями технических систем и возможности ее прикладного использования // Сборник докладов ИММОД-2011. – СПб., 2011. – Т.1. – С.168–171.
10. **Сергеев С.Ф., Падерко П.И., Назаренко Н.А.** Введение в проектирование интеллектуальных интерфейсов // учеб. пособие СПБГУ ИТМО, 2011.