

КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ДВИЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ СУДОВ В ЛОКАЛЬНОЙ АКВАТОРИИ

В. А. Палицын, Б. В. Соколов (Санкт-Петербург)

Введение. Обеспечение требований безопасности на внутренних водах Российской Федерации является актуальной и остро назревшей задачей, что связано в первую очередь со следующими факторами [1-5]: *существенно увеличилось количество и интенсивность движения судов в прибрежных морских районах, озерах и реках, в особенности маломерных, используемых для активного отдыха, туризма, транспортировки пассажиров, спортивных состязаний и в качестве судов специального назначения; в связи с повышением интенсивности судоходства во внутренних водах РФ усложнились задачи контроля за соблюдением правил пользования судами и технического надзора, осуществляемого МЧС, что ведет к возрастанию вероятности бедствий и чрезвычайных происшествий при плавании во внутренних водах РФ.*

В настоящее время разработаны, или находятся в стадии разработки, различные элементы региональной системы безопасности мореплавания (РСБМ) в соответствии с разработанной Министерством транспорта РФ в 2004 году концепцией [1-15]. По существующей концепции РСБМ включает в себя следующие элементы: автоматизированные системы мониторинга (АСМ); системы управления движением судов (СУДС); автоматические идентификационные системы (АИС); системы связи при бедствии (ССБ); комплекс наземных и спутниковых радионавигационных систем; единая база данных судов и мониторинговой информации.

Системы управления движением судов в соответствии с действующими руководящими документами [1-14, 15] создаются в интересах управления и обеспечения безопасности плавания морских и смешанного типа (река–море) судов и бывают трех видов: портовые, прибрежные и региональные. Известны разработки СУДС для речных акваторий, в том числе в сочетании с использованием спутниковых радионавигационных систем – для автоматической проводки речных судов. Установка технических средств СУДС (АИС, РЛС, датчиков-сенсоров и т.п.) на маломерных судах *не предусматривается*. Однако элементы комплекса технических средств СУДС могут применяться на некоторых типах маломерных судов, которые совершают регулярные плавания (к примеру, пассажирские перевозки, специальные маломерные суда и др.) в районах с интенсивным судоходством, вблизи портовых зон, а также в пограничных зонах.

Сказанное относится и к целесообразности использования на судах оборудования *автоматической идентификационной системы* (АИС), которая обеспечивает [14-19]: автоматическую и регулярную передачу судном другим судам и береговым службам информации, включающей сведения о судне, координаты, курс, скорость и другие данные; автоматический прием, обработку и отображение аналогичной информации от других судов и береговых служб; автоматическое сопровождение (прокладку движения) судов, оборудованных АИС, в целях предупреждения столкновений, а также контроля и регулирования судоходства; автоматизированный обмен сообщениями, связанными с безопасностью плавания, между судами и береговыми службами.

Необходимым условием эффективного мониторинга маломерных судов является применение оборудования *навигационных систем* различного типа (радионавигационных, акустических, радиолокационных, визуального контроля) как наземного, так и космического базирования. Радионавигационные системы (РНС) классифицируются на глобальные (спутниковые – СРНС ГЛОНАСС/GPS/Галилео) и локальные (наземные, в том числе, создаваемые на базе всенаправленных радиомаяков). Требуемая точность

определения координат (СКО) во внутренних прибрежных зонах, в портах, гаванях, на подходах к ним, в проливных зонах, на речных акваториях составляет не более 8...20 м., а в некоторых случаях и менее. Требуемые уровни доступности и целостности находятся в диапазоне от 0,99 до 0,9997 при задержке оповещения о неисправности от единиц до десятка секунд. В последние годы при использовании различных навигационных систем, как правило, осуществляется их комплексирование, за счет чего повышается точность определения позиций судов. К примеру, разработаны интегрированные приемники сигналов GPS/ГЛОНАСС/Logan-C. Для передачи сообщений в направлениях судно – берег и берег – судно, обеспечения связи между элементами систем обеспечения безопасности судоходства, между диспетчерскими центрами и пользователями развертывается *система связи*. В системах обеспечения безопасности на море – это глобальная морская система связи при бедствии (ГМССБ), в системах обеспечения безопасности судоходства на внутренних водных путях (ВВП) – это система связи ВВП (основу которой составляют бассейновые сети связи) [18].

Комплексное применение элементов РСБМ в перспективе позволит осуществить эффективное управление потоками водного транспорта, а также безопасность мореплавания, однако, применение подобной системы сопряжено с определённого рода проблемами.

В настоящее время автоматизированный сбор и хранение измеренных данных носят локальный характер, имеет место информационная несогласованность данных мониторинга, полученных разнородными автономными АСМ. Также проведённый анализ центров мониторинга и диспетчерских центров по сбору, хранению и обработке мониторинговой информации, используемых при этом технологий и средств, показал неэффективность существующей системы анализа мониторинговой информации, особенно в части оперативности проведения анализа и принятия на его основе решений. Компенсировать противоречие между существующей необходимостью в проведении оперативного анализа и прогнозирования надводной обстановки и современным состоянием организационно-технического инструментария обеспечивающих безопасность мореплавания служб может разработка и комплексное внедрение методов и алгоритмов анализа, планирования и прогнозирования надводной обстановки на основе современных интеллектуальных технологий. Одной из наиболее важных задач, которые необходимо решить для достижения поставленной цели, является задача планирования безопасного перемещения подвижных объектов в локальной акватории на основе комплексного моделирования функционирования соответствующей системы мониторинга.

Постановка задач исследования. Проведенный анализ показал, что целесообразно содержательную и формальную постановки задач комплексного моделирования измерительно-вычислительных операций при мониторинге состояния движения маломерных судов в локальной акватории проводить в рамках более общего класса задач анализа и выбора вариантов управляемой структурной динамики рассматриваемой системы мониторинга (СМ).

На содержательном уровне суть рассматриваемых задач анализа функционирования СМ сводится к следующему: известно исходное структурное состояние СМ, известен состав, допустимые варианты структурного построения СМ, варианты сценариев изменения входных воздействий на элементы и подсистемы СМ, известны пространственно-временные, технические и технологические ограничения, связанные с процессом её применения по целевому назначению в различных условиях обстановки, задан интервал времени, на котором проводится анализ структурной динамики СМ, определён перечень показателей, с помощью которых оцениваются различные аспекты структурной динамики СМ (например, показатели целевых и информационно-технологических возможностей, структурно-топологические показатели [19–22]). Тре-

буется провести многокритериальное оценивание и анализ структурной динамики СМ при различных вариантах входных воздействий. В том числе в ходе указанного анализа необходимо: провести анализ существования решений в задачах структурной динамики СМ; провести анализ управляемости, наблюдаемости, устойчивости СМ, чувствительности оптимальных решений к изменению исходных данных в задаче управления структурной динамикой СМ; провести анализ, классификацию и упорядочение многоструктурных состояний СМ.

На содержательном уровне суть задач синтеза управляемой структурной динамики СМ сводится к следующему: известно исходное структурное состояние СМ, известен состав, допустимые варианты структурного построения СМ, известны пространственно-временные, технические и технологические ограничения, связанные с процессом применения её по целевому назначению в различных условиях обстановки, заданы интервал времени, на котором осуществляется управление СМ и соответствующая система показателей качества указанного управления.

Требуется найти такую последовательность плановых и регулирующих воздействий на параметры, элементы, объекты, подсистемы структуры и в целом СМ, при которой для каждого заданного сценария изменения возмущающих воздействий на СМ обеспечивался оптимальный переход данной системы из текущего в требуемое многоструктурное макросостояние.

Полученные результаты. Анализ результатов исследований показал, что при описании процессов управления структурной динамикой СМ удобно воспользоваться концепцией активного подвижного объекта (АПО) [19]. Согласно указанной концепции АПО, в общем случае, представляет собой искусственно созданный материальный объект (аппаратно-программный комплекс), перемещающийся в пространстве и осуществляющий взаимодействие (информационное, вещественное, энергетическое) с другими АПО. АПО состоит из четырёх подсистем, которым поставлены в соответствие четыре процесса (четыре функции): процесс движения, процесс взаимодействия с другими АПО и объектами обслуживания (ОБО), процесс функционирования аппаратуры (приборов), процесс расхода (пополнения) ресурсов. Все перечисленные четыре функции различны по своему характеру, но именно совместное их выполнение при главенствующей роли функции взаимодействия придаёт АПО новое качество, выделяющее его как специфический объект исследования и управления и принципиально отличающее соответствующие задачи управления от традиционных задач управления механическим движением. При такой интерпретации АПО можно рассматривать как разновидность агента, входящего в состав соответствующей мультиагентной системы. При этом исходная постановка задачи комплексного моделирования измерительно-вычислительных операций при мониторинге состояния безопасного движения мало-размерных судов в локальной акватории может рассматриваться как разновидность задач мультиагентного моделирования. Однако для конструктивного решения задач анализа и синтеза облика и алгоритмов функционирования рассматриваемой СМ была проведена дальнейшая детализация рассматриваемых моделей. В результате был разработан полимодельный комплекс, описывающий функционирование СМ, в состав которого вошли следующие частные динамические модели: *динамическая модель управления движением СМ; динамическая модель управления каналами в СМ; динамическая модель управления операциями, проводимыми в СМ; динамическая модель управления потоками в СМ; динамическая модель управления ресурсами в СМ; динамическая модель управления параметрами операций, проводимыми в СМ; динамическая модель управления структурной динамикой СМ; динамическая модель управления вспомогательными операциями СМ.*

Проведенные исследования показали, что проблемы (задачи) управления структурной динамикой СМ имеют целый ряд особенностей, которые отличают их от классических задач оптимального управления. К указанным особенностям можно отнести: во-первых, разрывность правых частей дифференциальных уравнений, описывающих процессы управления СМ, не только при перераспределении каналов обслуживания между объектами, но и в моменты входа (выхода) объектов в зоны взаимодействия друг друга; во-вторых, рассматриваемая задача является многокритериальной; в-третьих, при решении задачи управления структурной динамикой СМ должны учитываться факторы неопределённости, вызванные воздействием внешней среды; в-четвёртых, все основные пространственно-временные, технические и технологические ограничения, имеющие сугубо нелинейный характер, учитываются не при задании дифференциальных уравнений, описывающих динамику соответствующих процессов, а при формировании области допустимых значений управляющих воздействий.

В общем случае построенная модель управления структурной динамикой СМ представляет собой нелинейную нестационарную конечномерную динамическую систему с перестраиваемой структурой и неопределёнными параметрами.

Главная особенность и отличительная черта разработанного комплекса моделей M , который, по сути, расширяет и обобщает предложенные ранее динамические модели теории расписаний [21–22], состоит в том, что основные технологические ограничения, имеющие сугубо нелинейный характер, учитываются не при задании дифференциальных уравнений, описывающих динамику соответствующих процессов (как это было сделано в [19]), а при формировании выпуклой области допустимых управляющих воздействий. В этом случае, используя метод локальных сечений [20], удаётся в явном виде получить множители Лагранжа, с помощью которых в разработанных моделях учитываются технические и технологические ограничения. В [20–22] указанные множители предлагается искать итерационно численными методами. Кроме того, в рамках предложенного варианта формализации процессов управления СМ можно перейти от исходного класса допустимых управлений K_{σ}^n к расширенному классу $K_{\sigma_p}^n$, в котором условия релейности управления вида $u_v \in \{0,1\}$ (где $v \in \{1, \dots, n_{об}\}$ – множество номеров компонент вектора u структурной динамикой СМ заменены на менее жёсткие условия вида $u_{\sigma} \in [0,1]$. Это позволяет на практике при решении разнообразных задач управления СМ (в том числе и задач теории расписаний) широко использовать фундаментальные научные результаты современной теории управления [19–22].

Заключение. Проведённые предварительные машинные эксперименты показали [20–22], что при использовании динамических моделей управления СМ существенно сокращается размерность задач управления, решаемых в каждый момент времени, за счёт рекуррентного описания моделей, повышается оперативность их решения на основе декомпозиции и распараллеливания вычислительного процесса, широкого использования оверлейных режимов работы ЭВМ. В этом случае весьма перспективным становится использование аналого-цифровых вычислительных комплексов. Оригинальность предложенного варианта формализации процессов управления СМ состоит в том, что удаётся в явном виде связать содержательные аспекты функционирования системы управления (СУ) СМ с технологией управления СМ. Так, например, исследуя динамические модели управления операциями, потоками и параметрами операций методами теории оптимального управления, можно оценить степень взаимного влияния вариантов распределения ресурсов СМ, схем проведения траекторных измерений и способов маршрутизации информационных потоков на качество процессов безопасного скоординированного управления движением группой малоразмерных, средних и больших судов в локальной акватории. Кроме того, в этом случае можно найти оптимальные

программы управления потоками, измерениями и ресурсами СУ СМ. Рассматривая различные сочетания и варианты взаимодействия частных моделей управления СМ, входящих в модель M , можно провести всесторонний многокритериальный анализ существенных факторов, влияющих на результаты целевого применения СМ.

Исследования по рассматриваемой тематике проводились при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 11-08-01016, 11-08-00767, 12-07-13119-офи-м-РЖД, 12-07-00302, 13-07-00279, 13-08-00702, 13-08-01250), Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН (проект №2.11), проекта ESTLATRUS 2.1/ELRI -184/2011/14 «Integrated Intelligent Platform for Monitoring the Cross-Border Natural-Technological Systems» (2012-2013 гг.), проекта ESTLATRUS/1.2./ELRI-121/2011/13 «Baltic ICT Platform».

Литература

1. Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации ". Федеральный закон от 7 марта 2001 г. N 24-ФЗ. – М., 2001.
2. Приказ Минтранса РФ № 129 от 14.10.2002 “Об утверждении правил плавания по внутренним водным путям российской федерации” (в ред. Приказа Минтранса РФ №114 от 31.03.2003).
3. Об утверждении Правил пользования маломерными судами на водных объектах Российской Федерации. Приказ Министра РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий № 502 от 29.06.2005 г. – М.: МЧС, 2005.
4. Об утверждении Правил аттестации судоводителей на право управления маломерными судами, поднадзорными Государственной инспекции по маломерным судам Министерства РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий. Приказ № 498 от 29.06.2005 г. – М.: МЧС, 2005.
5. Об утверждении Правил государственной регистрации маломерных судов, поднадзорных Государственной инспекции по маломерным судам Министерства РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий. Приказ № 500 от 29.06.2005 г. – М.: МЧС, 2005.
6. Об утверждении Правил технического надзора за маломерными судами, поднадзорными Государственной инспекции по маломерным судам Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, базами (сооружениями) для их стоянок, пляжами и другими местами массового отдыха на водоемах, переправами и наплавными мостами. Приказ № 501 от 29.06.2005 г. – М.: МЧС, 2005.
7. "Правила радиосвязи на внутренних водных путях Российской Федерации". – Официальный документ Департамента речного транспорта Министерства транспорта РФ.
8. Приказ Госкомспорта РФ от 5 ноября 2002 г. № 440 "Об утверждении правил классификации и технического надзора за спортивными судами". – М.: Минюст, 2002.
9. Приказ Минтранса РФ № 82 от 17.06.2002 “Об утверждении устава федерального государственного учреждения "Российский речной регистр".
10. Приказ Минтранса РФ № 74 от 17.07.2000 “О создании глобальной автоматизированной системы мониторинга и контроля за местоположением российских морских и смешанного (река-море) плавания судов”.
11. Временное положение о глобальной автоматизированной системе мониторинга и контроля за местоположением российских морских и смешанного (река-море) плавания судов. – Утверждено приказом Минтранса России от 17.07.2000 г. № 74.
12. Приказ Госкомрыболовства РФ № 322 от 3.11.1999 г. “О введении в действие "Требований к техническим средствам контроля позиций судов".

13. Отраслевая система мониторинга водных биологических ресурсов, наблюдения и контроля за деятельностью судов рыбопромыслового флота требования к техническим средствам контроля позиций судов. – Утверждены Приказом Госкомрыболовства России от 3 ноября 1999 года № 322.
14. Временное руководство по использованию автоматической информационной (идентификационной) системы (АИС) на судах и в береговых службах. – М.: Минтранс РФ, ГСМФ, 2002.
15. Системы управления движением судов. Техничко-эксплуатационные требования. – М.: Минтранс РФ, ГСМФ, 2002.
16. Приказ Госкомрыболовства РФ № 149 от 24.05.2001 г. “Об утверждении временного положения о Национальном центре системы мониторинга рыболовства и связи”.
17. Морская дифференциальная подсистема ГЛОНАСС/GPS. Назначение, состав, требования и методы испытаний. Техничко- эксплуатационные требования. – М.: Минтранс РФ, ГСМФ, 2001.
18. Автоматизированная информационная система Государственной инспекции по маломерным судам МЧС России (АИС ГИМС). – М.: Вестник МЧС № 4, 2007.
19. **Калинин В. Н.** Теоретические основы управления космическим аппаратом на основе концепции активного подвижного объекта. – СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского. – 1999. – 190 с.
20. **Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М.** Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
21. **Соколов Б. В. , Дилоу-Рагиня Э. А. , Колпин М. А. , Семенков О. И. , Григорьев К. Л.** Полимодельное описание процесса модернизации унаследованной информационной системы на основе сервис-ориентированного подхода // Приборостроение, 2010. Т. 53, № 11. С. 46-55.
22. **Соколов Б. В., Юсупов Р. М.** Комплексное моделирование функционирования автоматизированной системы управления навигационными космическими аппаратами // Проблемы управления и информатики, 2002. №5. С. 24–41.