Принципы обеспечения конструктивной безопасности высокоскоростных морских и речных транспортных средств

Д. А. СКОРОХОДОВ, докт. техн. наук, профессор,
А. Л. СТАРИЧЕНКОВ, канд. техн. наук, доцент Института проблем транспорта РАН

В статье рассматривается структурная схема процесса обеспечения конструктивной безопасности высокоскоростных водных транспортных средств, разработанная на базе системного подхода. Излагаются общие требования к среде моделирования, рассматривается обобщенная математическая модель высокоскоростного водного транспортного средства как единой динамической системы с варьируемыми конструктивными характеристиками.

Одно из направлений повышения эффективности транспортных систем — использование высокоскоростного транспорта. Для регионов, располагающих водными транспортными сетями, важен вопрос модернизации старых и создании новых высокоскоростных морских и речных транспортных средств (ВМРТР), отвечающих современным техническим и эксплуатационным требованиям. Как показала практика, одним из главных требований для транспортных средств рассматриваемого класса является безопасность, причем основные принципы обеспечения безопасности закладываются на этапе их создания.

В настоящее время нет единого системного методологического подхода и комплексной технологии обеспечения безопасности новых ВМРТС и их основных технических систем на протяжении всего жизненного цикла, включающего этапы их создания и эксплуатации. Эффективное решение этой проблемы возможно только на основе единой современной технологии, используемой всеми организациями, участвующими в создании и эксплуатации судов. Поэтому разработка таких методологических принципов, технологии и соответствующего программного продукта актуальна и будет содействовать повышению эффективности функционирования транспортных систем в целом.

Основные принципы системного обеспечения конструктивной безопасности ВМРТС

При существующей технологии разработка проекта создания (модернизации) ВМРТС — длительный и дорогостоящий процесс. Отработка концепции обеспечения безопасности в период проектирования высокоскоростного объекта связана с изготовлением сложных моделей и проведением их испытаний в бассейнах и аэродинамических трубах. В связи с этим у главного конструктора нет возможности рассмотреть множество вариантов, а у генерального заказчика — оценить эффективность предложенных компоновочных решений за весь период жизненного цикла. В то же время именно компоновка объекта в сочетании с основными техническими системами — двигательно-движительным комплексом и системами управления движением — определяет не только ходовые, мореходные и маневренные качества объекта, но и надежность и безопасность его эксплуатации. Проектирование указанных систем, представляющее собой самостоятельную сложную техническую задачу с проведением математического моделирования, осуществляется специализированными организациями по собственным технологиям. При разработке разными организациями сложных математических моделей, программного обеспечения и собственно исследований динамики объекта неизбежно дублирование, что приводит к значительному удорожанию, увеличению сроков разработок, вероятности ошибок и несогласованностей, снижению уровня конструктивной и, как следствие, эксплуатационной безопасности объекта.

Использование современного методологического подхода очень важно на этапе разработки проекта создания или модернизации высокоскоростного транспортного средства, так как определяет его конструктивную безопасность.

Структурная организация процесса обеспечения конструктивной безопасности ВМРТС на этапе проектирования

Сложившаяся практика проектирования судов носит характер последовательных приближений: разработка предэскизных проектов (аванпроектов) для обоснования технического задания на проектирование, разработка эскизного, технического, рабочего проекта и рабочих чертежей. Этап выбора основных элементов и главных размерений судна — один из наиболее ответственных, после него начинается длительный и трудоемкий этап разработки проектной документации, т. е. детализации принятых ранее решений. Основные же свойства (мореходность, управляемость, безопасность, экономичность и др.) на дальнейших этапах проектирования не претерпевают существенных изменений.

К важным этапам проектирования высокоскоростного судна относится проектирование его гидродинамического комплекса. Рассмотрим этот вопрос применительно к судну на подвод-

ных крыльях (СПК) как наиболее широко используемому ВМРТС. Для СПК основной конструктивный элемент — крыльевое устройство (КУ). Именно конструкция КУ определяет эффективность и безопасность эксплуатации СПК по прямому назначению.

При существующей схеме проектирования вопрос обеспечения функциональной эффективности СПК определяется пересчетами с прототипов с учетом оценочных расчетов по результатам модельных испытаний КУ, а оценка конструктивной безопасности проектантами судна и его подсистем сводится к предоставлению на рассмотрение наблюдающих органов расчетных данных по соответствующим нормативным требованиям.

Сложная техническая система — СПК включает ряд подсистем различного назначения. Результаты разработки конструкции судна во втором приближении служат исходными данными для проектирования этих подсистем. К таким подсистемам относятся прежде всего двигательно-движительный комплекс и система управления движением (СУД). Проектирование указанных подсистем выполняется, как правило, специализированными организациями по собственным технологиям. Отметим, что каждая подсистема влияет на функциональные качества и безопасность судна в целом.

Количество субъективных, в том числе ошибочных, проектных решений может быть сведено к минимуму при использовании системных принципов. Таким образом, появляется возможность рассмотреть в процессе проектирования множество вариантов основных конструктивных характеристик судна и его подсистем с учетом их взаимовлияния и провести оценку их влияния на показатели функциональной эффективности и безопасности проектируемого судна. Это может быть реализовано путем создания единой среды моделирования основных конструктивных элементов судна и его подсистем, используемой на всех этапах проектирования.

Методы решения комплекса задач системного обеспечения конструктивной безопасности

Безопасность, одна из основных характеристик ВМРТС, определяется рядом факторов, формирующихся на различных этапах жизненного цикла судна, а проявляется на этапе его эксплуатации. Поэтому конструктивная безопасность как составляющая общей безопасности оценивается прежде всего совокупностью его функциональных показателей, которые характеризуют динамические свойства судна в реальных условиях плавания и должны находиться в заданных пределах. Следовательно, для возможности оценки уровня конструктивной безопасности ВМРТС на этапе проектирования следует использовать такую среду моделирования, которая позволяет определять значения указанных показателей.

Отметим, что необходимо выполнять анализ влияния как можно большего количества конструктивных факторов. В качестве такой среды может быть использована среда математического моделирования на базе обобщенной математической модели динамики судна.

Разработка обобщенной математической модели представляет собой сложную научную проблему — необходимо решение комплекса задач из разных теоретических областей: гидромеханики, динамики, проектирования судов, гидравлики, прочности, математической статистики, теории систем и автоматического управления и др. Сейчас уровень теоретических разработок позволяет поставить и решить такую задачу для высокоскоростного водного транспортного средства с крыльевыми несущими элементами, например, для СПК, экраноплана и ряда других. В основе математического моделирования на базе обобщенной модели лежит совместное решение задач определения текущих значений внешних сил и моментов на несущих элементах и нелинейных уравнений динамики управляемого движения судна, произвольно маневрирующего в пространстве в условиях действия реальных ветро-волновых возмущений. При современном техническом уровне компьютерной техники и достаточной оснащенности ею организаций, занятых проектированием судна и его технических систем, возможно проводить математическое моделирование с использованием единой обобщенной математической модели. В этом случае обеспечивается адекватность оценок влияния различных конструктивных факторов на динамику проектируемого судна, возможность их варьирования в широком диапазоне и, как следствие, сводится к минимуму возможность принятия проектантами ошибочных технических решений при минимальных затратах на проведение модельных экспериментов.

Единая среда моделирования включает в себя три основных блока (*рис. 1*). С учетом целей модельного эксперимента в первом блоке задаются или формируются конструктивные факторы и другие условия, влияющие на динамические свойства судна как объекта моделирования. Второй блок представляет собой обобщенную нелинейную математическую модель динамики судна, произвольно маневрирующего в пространстве под действием реальных внешних возмущений. В этом блоке выполняется математическое моделирование динамики судна с использованием самостоятельных, но взаимосвязанных математических моделей его элементов. В третьем блоке по результатам моделирования формируется совокупность тех или иных показателей, подлежащих анализу. Эти три блока и составляют основу разрабатываемой среды моделирования. Полученные в результате моделирования показатели служат базовыми для проведения сравнительного анализа вариации различ-

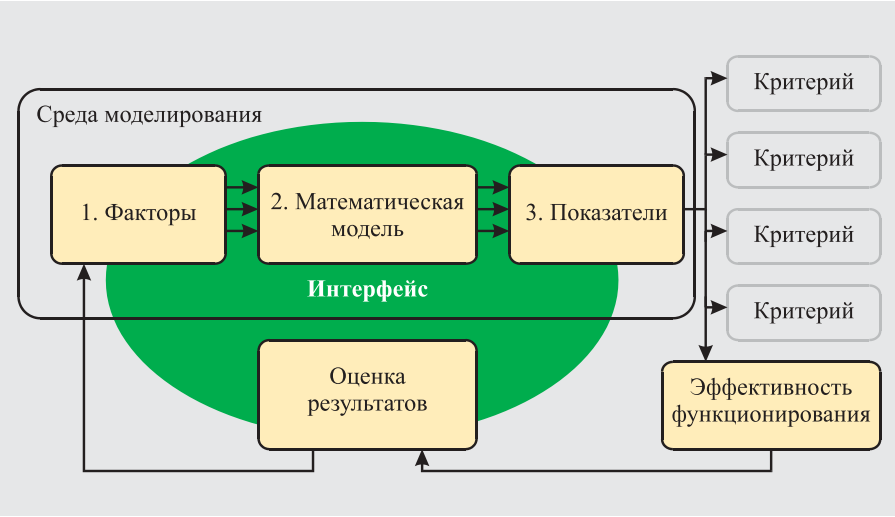

Рис. 1. Структура единой среды моделирования

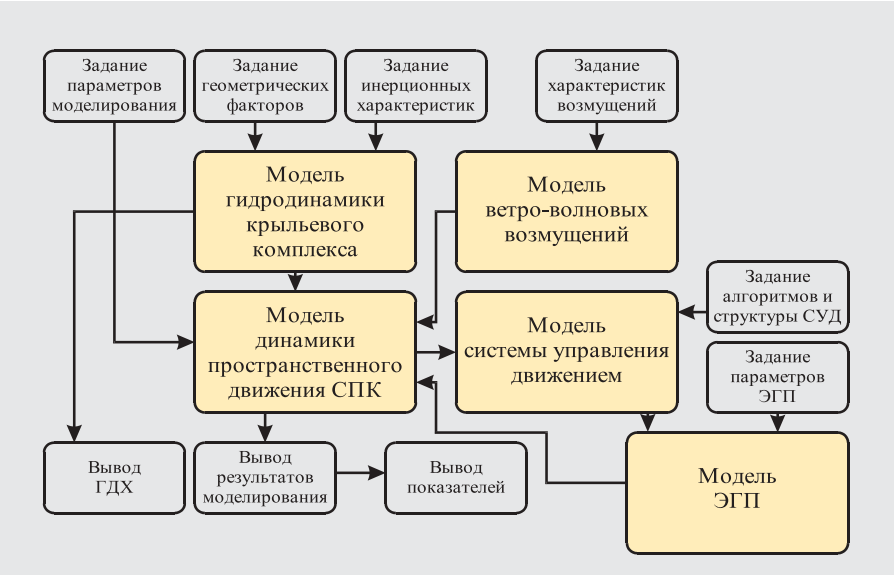

Рис. 2. Структура обобщенной математической модели

ных конструктивных элементов на безопасность и функциональные качества судна, а также могут быть использованы для формирования различных критериев его эффективности. После оценки эксплуатационных показателей проектант делает обоснованный выбор конкретных конструктивных элементов судна и его технических систем.

Взаимодействие с пользователем осуществляется с помощью специально разработанного программного интерфейса, позволяющего удобно задавать факторы моделирования и исходные данные для элементов математической модели, а также получать информацию на различных этапах моделирования.

Такая система моделирования выгодно отличается от аналогичных — пользователи (проектировщики, организации) могут применять ее без предварительной подготовки. Пользователь избавлен от необходимости вникать во внутреннюю структуру моделей, включенных в систему. Ему достаточно лишь задавать простейшие, широко используемые параметры объекта. Вывод результатов осуществляется в понятной форме. Эта система окажется полезной проектировщикам различных специальностей (гидродинамика, прочностной расчет и т. п.).

Структура обобщенной математической модели для решения комплекса задач системного обеспечения конструктивной безопасности

Приведем примерную графическую структуру обобщенной математической модели для решения комплекса задач системного обеспечения конструктивной безопасности СПК с произвольной крыльевой схемой с раскрытием связей между частными моделями, показателями и конструктивными элементами судна и его систем (*рис. 2*).

Схема была составлена на основе общей структуры среды моделирования (см. *рис. 1*). Узловыми элементами обобщенной математической модели являются частные математические модели расчета внешних гидродинамических сил и моментов на элементах крыльевого комплекса, динамики судна, ветро-волновых возмущений, электрогидравлического привода, системы управления движением. Кроме того, в среде моделирования важную роль играют блоки обработки и оценки результатов моделирования. После обработки данных проектантом формируются функциональные и экономические показатели, которые служат основой для оценки полученных результатов. При необходимости выполняется коррекция геометрии судна, параметров его технических систем, алгоритмов управления и других конструктивных факторов, влияющих на безопасность судна. В систему моделирования включены вспомогательные блоки ввода информации. Блок задания геометрии отвечает за ввод геометрических и инерционных характеристик судна, крыльевого комплекса и его технических систем. С ним связан вспомогательный графический блок, с помощью которого можно осуществлять визуальное изменение формы элементов крыльевой схемы, архитектуры корпуса для расчета его парусности. Для ввода параметров волнения и ветра также предусмотрены соответствующие вспомогательные блоки. Важным элементом системы является блок задания алгоритмов управления. Интерфейс этого блока должен предусматривать как удобный способ задания коэффициентов стандартных линейных алгоритмов, так и механизм для быстрого оперативного задания нелинейных алгоритмов нестандартной структуры.

Описанная структура служит основой для разработки алгоритмического и программного обеспечения комплексной компьютерной технологии оценки конструктивной безопасности ВМРТС на этапе проектирования.