

УДК 517.958 : 656.61.052.08

## Использование идентифицированных математических моделей судна для обеспечения безопасности судовождения

Ю.И. Юдин, А.Г. Степахно, А.Н. Гололобов

Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра судовождения

**Аннотация.** В статье рассмотрены предлагаемые авторами варианты использования идентифицированных математических моделей судна в качестве основы прогностических алгоритмов, используемых для осуществления прогноза результатов маневрирования судна при выполнении определённых управляющих действий со стороны судоводителя, а также для формирования информационных ресурсов, отвечающих требованиям резолюций Международной морской организации.

**Abstract.** The paper considers some variants of identified ship mathematical models as basis of forecasting algorithms. The algorithms have been used for forecasting of ship maneuvering when the navigator produces some definite control actions and for generating informational resources which meet the requirements of resolutions of the International Marine Organisation.

### 1. Введение

Выполнение любого сложного маневра начинается с прогнозирования поведения судна в конкретных условиях плавания (ветер, волнение, течение, мелководье) при совершении судоводителем определенных управляющих воздействий через средства управления судном (перекладка руля, изменение оборотов и (или) угла атаки лопастей движителя, реверс подруливающего устройства).

При этом в качестве базовой информации для получения достоверного прогноза используются данные, характеризующие технические параметры судна и текущее состояние внешней среды, а именно:

- технические характеристики средств управления судном;
- характеристики управляемости и маневренности судна;
- параметры, характеризующие состояние загрузки судна;
- параметры посадки корпуса при данном состоянии загрузки судна;
- направление и скорость ветра;
- направление и скорость течения;
- характерные параметры волнения;
- глубина места выполнения маневра.

Рассматриваемый прогноз обычно основывается на практическом опыте судоводителя, осуществляющего управление или дающего команды на выполнение управляющего воздействия. В данном случае не исключена ошибка, вероятность которой существенно возрастает, если условия, в которых выполняется маневр, не соответствуют в определённом смысле практическому опыту судоводителя. Как правило, в этом случае судоводитель оценивает правильность выполняемых им действий последовательно, методом проб и ошибок (*Ольшамовский, 1994*). Таким образом, вступает в силу человеческий фактор, который, как известно, является причиной 80 % аварий и аварийных случаев в мировой практике судоходства.

Скоротечность многих сложных маневров порой не дает судоводителю права на ошибку при принятии очередного решения и совершении следующего за ним управляющего действия. Необходимо помнить, что судно – это инертный объект, и движется оно в относительно неплотной среде, поэтому исправление любой ошибки в управлении потребует немало времени, что, в свою очередь, вероятнее всего, приведёт к прерыванию процесса целенаправленного движения судна. Абсолютно очевидно, что управлять судном, полагаясь только на собственный практический опыт и интуицию, – это значит сознательно повышать вероятность возникновения аварийной ситуации, развитие которой может привести к серьезным и даже катастрофическим последствиям.

Конечно, помимо практического опыта и интуиции, судоводитель при выборе способа маневрирования использует определенную специальную информацию, которой он располагает в судовых условиях. Прежде всего, это информация о маневренных и инерционно-тормозных характеристиках судна, в частности, параметры циркуляции, величина тормозного пути, время торможения, значения которых определяются при проведении маневренных испытаний. Указанные маневренные характеристики требуют определённой корректировки в процессе эксплуатации, согласно положениям резолюции ИМО А.601 (15). Однако это, к сожалению, далеко не всегда выполняется в эксплуатационных условиях.

Приходится сомневаться в полной пригодности данной информации для прогнозирования поведения судна после выполнения тех или иных управляющих воздействий. Причин для такого рода сомнений достаточно. Главная из них – это, как правило, несоответствие целого ряда условий, при которых обычно выполняются тестовые маневры во время проведения плановых маневренных испытаний (циркуляция, торможение), условиям выполнения необходимого маневра в конкретной эксплуатационной ситуации. В данном случае имеется в виду, прежде всего, нефиксированное состояние загрузки судна, которое в реальных условиях эксплуатации имеет достаточное множество вариантов и меняется практически непрерывно. Кроме того, характер воздействия внешних факторов на маневренные характеристики судна весьма разнообразен и зависит от определённого их сочетания.

Маневренные испытания проводятся в более или менее благоприятных гидрометеороусловиях, на специальных полигонах и при фиксированном состоянии загрузки судна (судно в балласте или судно в грузу), а сами маневры стандартизированы и не отличаются разнообразием. В то же время маневр в реальных эксплуатационных условиях бывает далеко не стандартным, а порой даже и не простой совокупностью стандартных маневров.

Характер движения судна после выполнения управляющего воздействия определяется рядом физических законов, и ошибки в управлении судном есть результат неправильной оценки и учёта судоводителем действующих на судно сил и моментов, а также степени их влияния на параметры движения (Гофман, 1988).

## **2. Использование идентифицированной математической модели для прогнозирования результатов манёвра**

Относительная скоротечность выполнения манёвра любой сложности не представляет судоводителю достаточно времени для анализа степени и характера влияния множества факторов на поведение судна. В этих условиях целесообразно использовать возможности бортовой ЭВМ. Для этого необходимо, прежде всего, иметь в памяти ЭВМ идентифицированную математическую модель данного судна или несколько его моделей, а также адекватное запрограммированное математическое описание характера воздействия внешних факторов на динамические свойства судна.

Известными программными методами в оперативную память вычислительной машины необходимо своевременно вносить значения параметров, характеризующих состояние внешней среды в районе предполагаемого или планируемого маневрирования и, наконец, если это возможно, используя графические возможности бортовой ЭВМ, предусмотреть присутствие на экране монитора отображения навигационной обстановки в районе маневрирования.

Наличие такой информации позволит судоводителю заранее, а возможно, и непосредственно перед выполнением маневра, смоделировать процесс его протекания при реальном множестве комбинаций управляющих воздействий на судно.

Право выбора того или иного действия по управлению судном для достижения поставленной цели маневрирования в данных конкретных условиях остается за судоводителем. Тем не менее, при выполнении вышеназванных условий выбор будет обоснован и, как следствие, более адаптирован к сложившейся ситуации, чем выбор, сделанный на основании только теоретических знаний, практических навыков и интуитивных возможностей судоводителя.

В настоящее время альтернативных способов учёта динамических характеристик судна, соответствующих реальному состоянию его загрузки, определяемого параметрами посадки корпуса, а также сопутствующим внешним условиям, на наш взгляд, не существует.

На основании вышесказанного можно утверждать, что одним из способов решения задачи совершенствования управления судном для обеспечения безопасного судовождения является создание современных способов построения прогностических модулей на базе идентифицированных математических моделей судна, адекватно описывающих его динамику при различном состоянии загрузки и разнообразном сочетании внешних условий.

## **3. Использование идентифицированной математической модели для формирования информации о маневренных качествах судна**

Идентифицированная математическая модель судна может найти практическое применение и в других областях, связанных с обеспечением безопасности судовождения.

В соответствии с резолюцией ИМО А.601 (15) от 20 ноября 1987 г., информация о маневренных характеристиках судна должна иметь определенную структуру, в которой значительное место отводится "Журналу маневренных элементов". "Журнал маневренных элементов" должен содержать достаточно подробное описание маневренных характеристик судна в различных условиях плавания и другие соответствующие данные.

Допускается, что большая часть информации о маневренных характеристиках в "Журнале" может быть получена расчётным путем с использованием различных расчётных методов (Васильев, 1989; Гофман, 1988; Ольшамовский, 1994). В настоящее время существуют несколько хорошо известных, апробированных методов расчёта маневренных характеристик судна в различных условиях плавания. Оценка известных расчётных методов, проведённая авторами, позволяет утверждать, что даже самый совершенный метод расчёта не может в полной мере отвечать требованиям безопасности судовождения (Юдин, Степахно, 2003). Полученные расчётным методом значения параметров, характеризующих маневренные качества судна в различных условиях плавания, порой существенно отличаются от тех же значений, полученных при проведении натурного эксперимента (Юдин, Юдин, 2003).

Анализ результатов ряда модельных экспериментов, проведённых авторами с использованием идентифицированных математических моделей судов различных типов, приводит к выводу об эффективности использования моделей для определения значений параметров, характеризующих маневренные качества судна в различных условиях плавания (Юдин, Позняков, 2006). При этом достоверность значений многих параметров, полученных по результатам модельных экспериментов, оценивалась с использованием результатов натурных экспериментов.

Учитывая приемлемую точность расчёта значений параметров, характеризующих маневренные качества судна в различных условиях плавания, с применением идентифицированных математических моделей, можно рекомендовать этот расчётный метод для практического использования.

#### 4. Заключение

Можно утверждать, что недостатки разработанных методов определения и оценки маневренных качеств судов не позволяют на сегодняшний день использовать их в полной мере для прогнозирования движения судна при выполнении даже несложного с практической точки зрения манёвра. Таким образом, решение рассматриваемой задачи должно сводиться не только к выработке и совершенствованию стандартов для определения маневренных характеристик судна, требующих сложных и не всегда достаточно эффективных маневренных испытаний, а также и к разработке методов построения и идентификации математических моделей судов различных типов. Это, в свою очередь, позволит не только проводить модельные эксперименты для определения маневренных качеств судна в различных условиях плавания, но и прогнозировать планируемый манёвр с использованием бортовой ЭВМ, снижая влияние человеческого фактора и степень риска при его выполнении. Созданный на основе идентифицированной математической модели программный модуль может быть также использован для формирования информационной базы, содержащей сведения о маневренных характеристиках судна в различных условиях плавания, в обучающих системах, например, для оценки качества выполненного манёвра, анализа случаев аварийности. Наконец, создание профессионального тренажёра на базе таких моделей существенно повысит качество подготовки и переподготовки морских специалистов.

#### Литература

- Васильев А.В. Управляемость судов: учеб. пособие. Л., Судостроение, 328 с., 1989.
- Гофман А.Д. Двигательно-рулевой комплекс и маневрирование судна: справочник. Л., Судостроение, 360 с., 1988.
- Ольшамовский С.Б., Кондратьев С.И. Практическое применение краевых задач дифференциальных уравнений движения судна при выполнении маневров. *Мор. транспорт. Сер. Судовождение, связь и безопасность мореплавания: экспресс-информ. Мортехинформреклама*, вып. 8(303), с.1-15, 1994.
- Юдин Ю.И., Степахно Р.Г. Идентификация модели судна – важнейший элемент управления безопасностью мореплавания. *Управление безопасностью мореплавания и подготовки морских специалистов: SSN, 2002: материалы 3-й междунар. конф. (Калининград, 27-29 ноября, 2002) БГАРФ, Калининград, с.274-283, 2003.*
- Юдин Ю.И., Юдин А.Ю. Использование судовой спутниковой навигационной аппаратуры СНС "НАВСТАР GPS" для определения маневренных элементов судна и поправки лага. *Мурманск, МГТУ, 40 с., 2003.*
- Юдин Ю.И., Позняков С.И. Маневренные характеристики судна как функции параметров его математической модели. *Вестник МГТУ: Труды Мурман. гос. техн. ун-та*, т.9, № 2, с.234-240, 2006.