



УДК 629.5.051.5

**Т.И. Гаврилова**, доцент, к.т.н., кафедра Информатики, систем управления и телекоммуникаций, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

**Е.Н. Поселенов**, доцент, к.т.н., кафедра Информатики, систем управления и телекоммуникаций, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

**М.М. Чиркова**, профессор, д.т.н., кафедра Информатики, систем управления и телекоммуникаций, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

603951, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

### ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ РЕЧНЫХ ВОДОИЗМЕЩАЮЩИХ СУДОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИХ ДВИЖЕНИЕМ

*Ключевые слова: математические модели, динамика судов, прогнозирование состояния.*

*В работе предлагается методика выбора математических моделей, которые могут использоваться для прогнозирования поведения судна на заданном направлении и выработать рекомендации по изменению алгоритма управления.*

Современное состояние вычислительной техники позволяет включить в систему управления движением судов аналитический блок, который может не только контролировать процесс управления движением, но и предсказывать значение координат состояния на несколько секунд вперед. Для выполнения этой задачи используются математические модели, описывающие его динамику.

Известно, что характеристика управляемости судна  $\omega=f(\alpha, c_i, t)$ , где  $\omega$  – угловая скорость рыскания,  $c_i$  – гидродинамические коэффициенты,  $\alpha$  – управляющее воздействие для смены направления движения, может существенно меняться в зависимости от изменения условий плавания, так как  $c_i=f(\text{течение, ветер, глубина фарватера})$ . Так, динамика судна в идеальных внешних условиях может быть описана с достаточной точностью для поставленных задач простейшим линейным дифференциальным уравнением (1).

$$T \dot{\omega}(t) + \omega(t) = k\alpha(t) \quad (1)$$

где  $T$  – инерция судна,  $k$  – коэффициент, характеризующий значение установившейся скорости циркуляции в зависимости от угла перекладки рулевых органов –  $\alpha$ . В этом случае характеристика управляемости примет вид 6, рис.1.

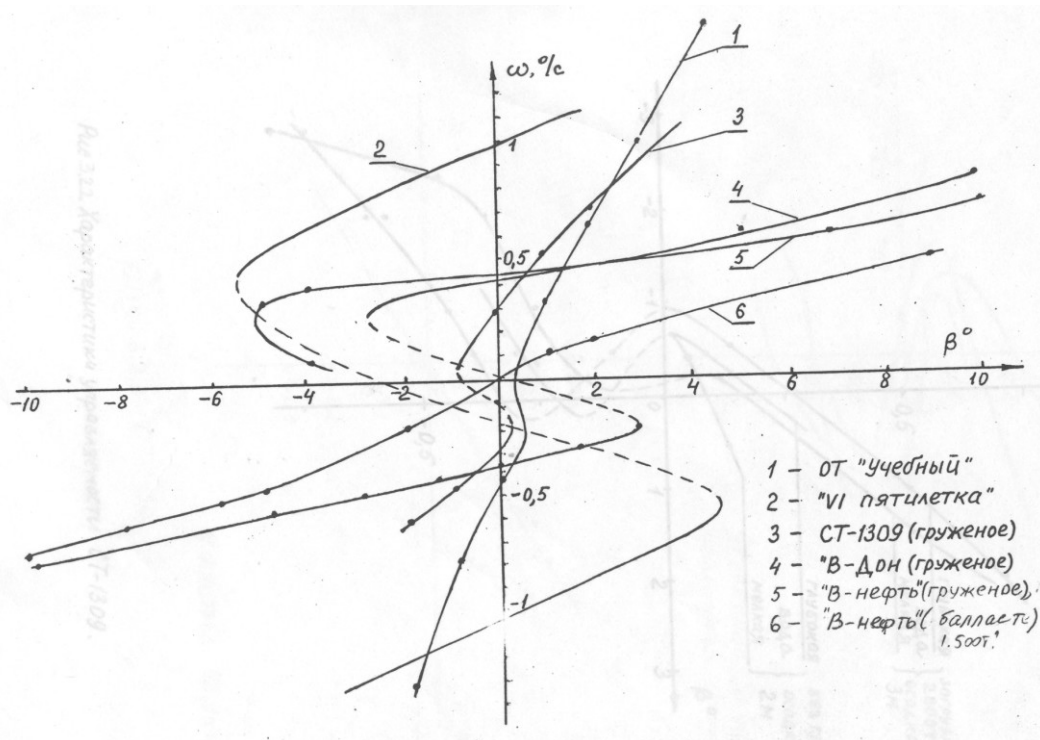


Рис.1. Характеристики управляемости печных водоизмещающих судов

Динамика того же судна при изменении условий плавания меняется столь существенно, что изменяется его характеристика управляемости и, соответственно, математическая модель. У судна появляются свойства, которые не проявляются, когда оно идет по глубокой воде и при отсутствии ветра. В этом случае более точно работает модель (2) [1].

$$\begin{cases} \dot{\beta} = -q_{21}\beta - r_{21}\omega - s_{21}\alpha - h_1|\beta|\beta, \\ \dot{\omega} = -q_{31}\beta - r_{31}\omega - s_{31}\alpha. \end{cases} \quad (2)$$

где  $\beta$  – угол дрейфа судна,  $q_{21}$ ,  $r_{21}$ ,  $s_{21}$ ,  $q_{31}$ ,  $r_{31}$ ,  $s_{31}$ ,  $h_1$  – гидродинамические коэффициенты.

Качество процесса управления зависит от ряда факторов – от состояния внешней среды и применяемого алгоритма управления.

Современная вычислительная техника позволяет контролировать алгоритм управления, прогнозировать реакцию объекта на сформированное управление и тем самым корректировать его;

Поэтому современные системы управления должны иметь следующую структуру и включать следующий набор узлов (рис. 2):

1) объект управления с исполнительным устройством (рулевым приводом);  
 2) вычислительный комплекс – сложное устройство, выполняющее несколько функций:

а) сбор информации с записью координат состояния в базу данных;  
 б) формирование управления;  
 в) оценка адекватности используемой в данный момент модели динамики судна;

г) оптимизация параметров модели;  
 д) оценка необходимости к переходу более сложной модели (время на оценку коэффициентов модели значительно возрастает, точность уменьшается, вероятность прогноза увеличивается);

е) проверка оптимальности выработанного управления;

ж) выработка рекомендаций по изменению параметров или типа алгоритма управления при ухудшении показателей качества управления.

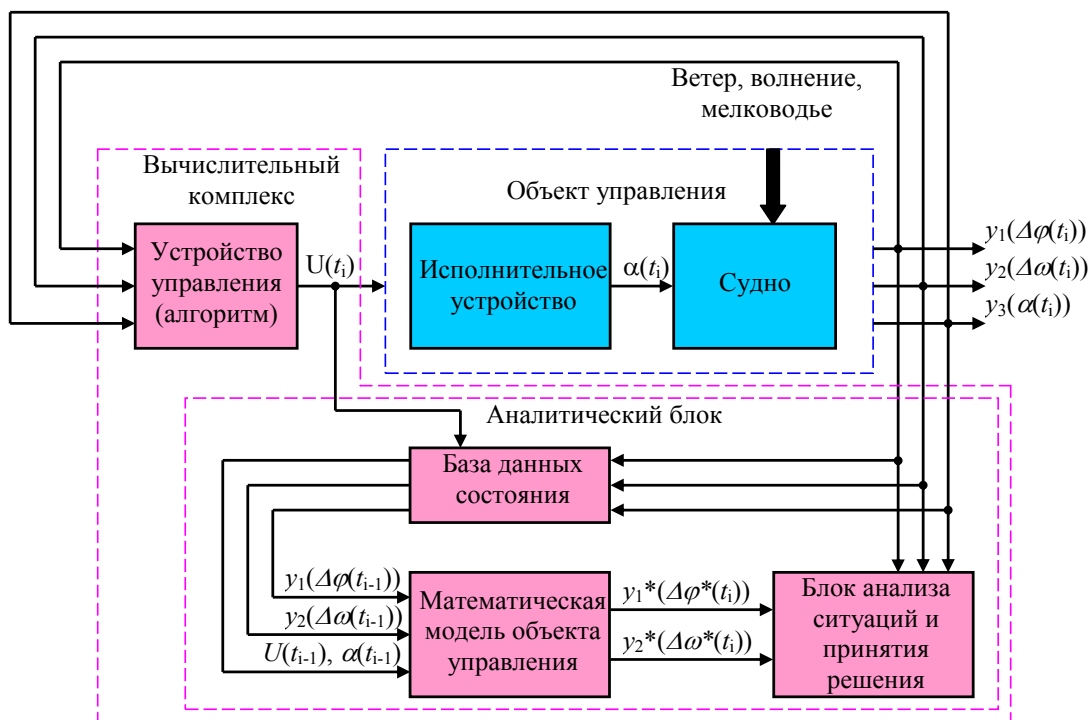


Рис. 2. Схема системы контроля и управления движением судна

Для выполнения последней задачи необходимо использовать базовую математическую модель, с помощью которой на основе данных с датчиков координат состояния объекта и блока анализа ситуаций, можно предсказывать дальнейшее поведение объекта управления и выработать рекомендации по изменению параметров или типа алгоритма управления. В случае расхождения расчетных координат  $y_i^*$  с реальными  $y_i$  возможны два сценария работы аналитического блока.

Первый сценарий работы блока связан с анализом математической модели. Предположим, что известно допустимое расхождение между истинным и спрогнозированным значением угловой скорости рысканья судна  $\Delta\omega_\delta$ . Если расхождение/невязка  $\Delta\omega(t)$  превышает допустимое значение  $\Delta\omega_\delta$ , то аналитический блок принятия решения может попытаться выполнить переоценку коэффициентов модели, используя информацию из базы данных.

Если подбором коэффициентов модели не удастся минимизировать невязку до допустимых значений, то делается вывод о необходимости смены модели.

Второй сценарий связан с прогнозом контролируемой координаты состояния  $y_i(t)$  (в качестве наиболее значимой может рассматриваться угловая скорость рысканья  $\omega(t)$ ). Если в ближайшем прогнозе модель показывает, что при данном управлении значения  $\omega^*(t_{i+1})$  и  $\omega^*(t_{i+2})$  могут превысить допустимое значение  $\omega_\delta$ , и смена модели не дает желаемых результатов, то следует корректировать алгоритм управления.

Для подтверждения актуальности предлагаемой схемы системы управления движением судна с описанным функционалом на рис. 3 представлены осциллограммы натурных испытаний судов. На рис. 3а управление осуществляется авторулевым с классическим пропорционально-дифференциальным алгоритмом с постоянными коэффициентами. Этот алгоритм в идеальных условиях дает хорошие показатели управления. При ухудшении условий плавания система становится неустойчивой, и вахтенный принимает решение перейти на ручное управление. Вторая осциллограмма, рис. 3б, демонстрирует поведения судна при ручном управлении и разных внешних условиях.

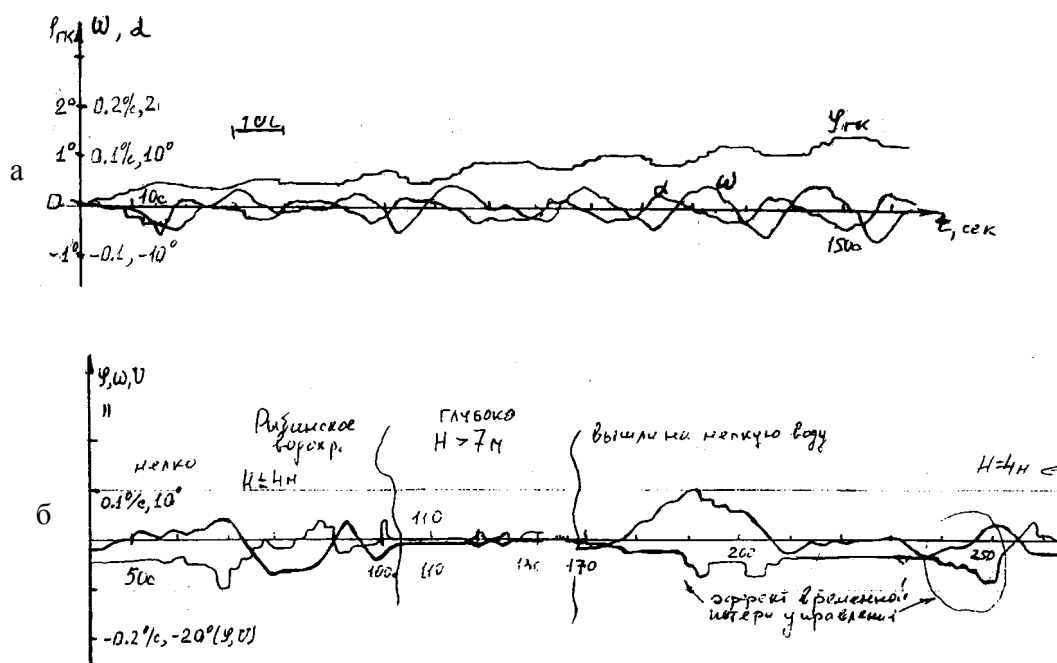


Рис. 3 а, б. Осциллограммы натуральных испытаний речных водоизмещающих судов

Использование возможностей современной вычислительной техники позволит улучшить качество процесса управления судном и некоторые экономические показатели за счет уменьшения его рысканья на заданном направлении.

#### Список литературы:

[1]. Войткунский Я.И. Управляемость водоизмещающих судов: Справочник по теории корабля/ Я.И. Войткунский - Л.: Судостроение, 1985. Т. 3. 544 с.

## THE PROBLEMS OF APPLYING MATHEMATICAL MODELS TO RIVER DISPLACEMENT VESSELS DYNAMICS IN SHIP-TRAFFIC CONTROL

Gavrilova T.I., Poselenov E.N., Chirkova M.M.

*Key words: mathematical models, vessels dynamics, state prediction*

*This research offers mathematical models selection methods which can be used in predicting watercraft behavior in the selected direction and develops guidelines in altering control algorithms.*