

выходила за порог управляемости, с последующим восстановлением ее по определенно отработанному алгоритму.

Интеллектуальный процесс управления судном, описывается путем введения в уравнение  $U^*$ . Однако диаграмма меняется с изменением внешних условий (скорость и направление ветра, глубина фарватера и т.п.). Даже солидная база данных, созданная практическим образом на основании построения диаграммы управляемости в натуральных условиях, не позволит избежать ошибок. Таким образом, установленное значение  $U^*$ , соответствующее «исходной диаграмме управляемости», не будет соответствовать новому значению  $U^{**} = U^* + \Delta U$ , для того же  $\psi^*$ , но в изменившихся условиях. В результате устанавливается некоторый стационарный режим. Таким образом, при управлении судном авторулевым с интеллектуальной вставкой может установиться ошибочный курс –  $\psi^{**}$  со статической ошибкой  $\Delta\psi$ . Ее значение будет меняться при изменении  $V_i$  в зависимости от участка диаграммы управляемости. С увеличением разницы между действующей и прошлой скоростями ветра ее значение будет расти. Например, значение статической ошибки при изменении скорости на ветра на 2% может измениться в 10 раз.

Предложен способ ликвидации статической ошибки установкой стимулятора, который периодически (через интервал времени  $\tau$ ) зануляет второе слагаемое. В основу стимулятора заложено отображение пространства состояний динамической системы в себя  $U(t_i) \rightarrow U(t_i + \tau)$  в процессе ее естественного функционирования. Настройка стимулятора производится изменением интервала времени отображения  $\tau$ . Это позволяет авторулевому устанавливать  $U^*$ , равное существующей переключке руля, и синхронизировать ее с углом переключки, приближающемуся к нужному в соответствии с диаграммой управляемости. Параметр  $\tau$  играет важнейшую роль в обеспечении качества управляемости. Переходный процесс продолжается до полного зануления обоих слагаемых.

*А.В. Чернышов, М.М. Чиркова*  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## **ОБ УПРАВЛЯЕМОСТИ РЕЧНЫХ СУДОВ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО БЬЕФА ГОРЬКОВСКОГО ГИДРОУЗЛА**

Рассматриваются вопросы изменения управляемости судов на мелководье, появление нежелательных эффектов и способы их устранения.

С точки зрения создания алгоритмов управления, автоматическое управление движением по мелководью является достаточно сложным. При ручном управлении от судоводителя требуются навык и внимание. Из-за уменьшения зазора между днищем судна и дном фарватера, а также из-за изменения относительной скорости судна, поворотливость судна ухудшается, а рыскливость возрастает [1,2,3]. Оценить порядок изменения можно только приблизительно. Также следует отметить, что при составлении алгоритма управления учет падения скорости (влияния мелководья) должен быть обязательным. Кроме того, учитывая малые значения чисел Фруда, возникает проблема обеспечения безопасного расхождения судов. Поскольку, поворотливость зависит от статической характеристики, возникает задача определения зависимости между видом этой характеристики и рельефом дна.

На рис. 1 показано изменение вида характеристики управляемости при изменении глубины судового хода. Данные взяты из результатов натурных экспериментов.

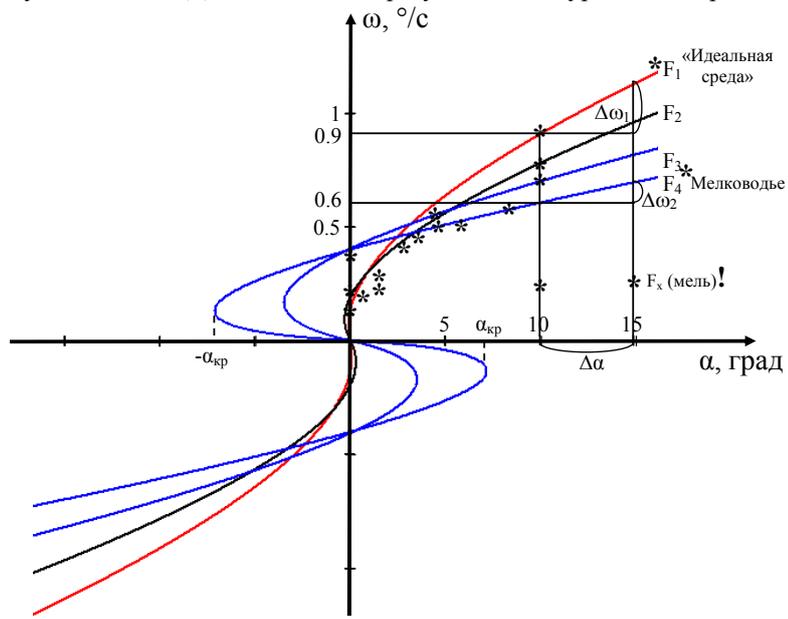


Рис. 1. Характеристики управляемости судна проекта 558 («Волгонефть-71») при различной глубине судового хода

На мелководье в процессе управления возникают некоторые эффекты, учет которых также важен для оценки управляемости. К таким эффектам относится, например, эффект фазового пятна [4].

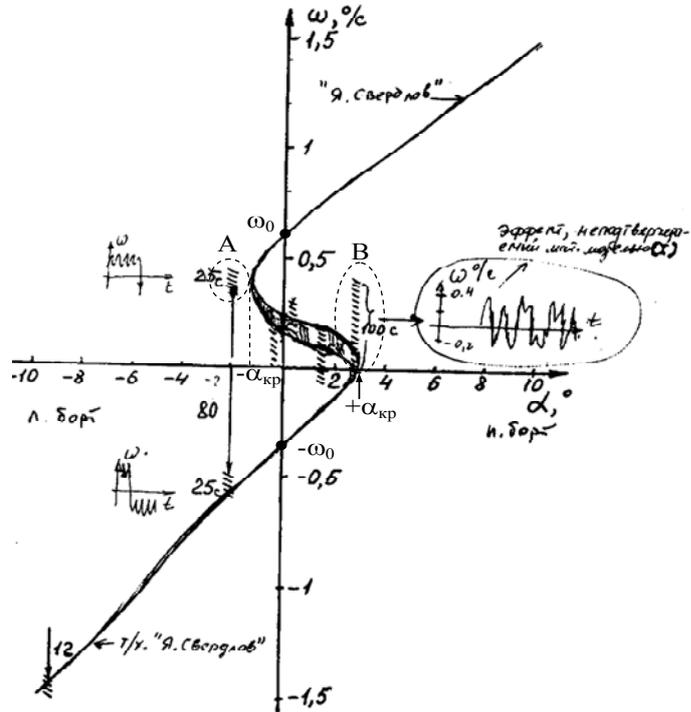


Рис. 2. Статическая характеристика т/х «Яков Свердлов»

На рис. 2 изображена статическая характеристика неустойчивого на курсе т/х «Я. Свердлов», построенная по результатам натуральных испытаний, проходивших в 1980 г. На этом рисунке показана область пониженной управляемости – А, попадая в которую судно слабо реагирует на управляющее воздействие (фазовое пятно). Также, отмечена область В, в которой проявился эффект, не подтверждаемый никакой математической моделью. На поясняющей диаграмме видно, что в области В временная характеристика угловой скорости представляет собой колебательный процесс. Также, на рисунке отмечено, что в области С ( $\omega = -0.6, \alpha = -2$  или  $\omega = -1.5, \alpha = -12$ ) переходной процесс  $\omega(t)$  носит колебательный характер.

В данной статье предпринята попытка выявить такой же эффект у другого судна и объяснить наличие колебаний  $\omega(t)$  в районе установившихся значений  $\omega$ .

Для примера возьмем судно проекта 558 (Танкер «Волгонефть-71»). Допустим, судно движется в грузу, в районе нижнего бьефа Горьковского гидроузла. Судходная глубина – 4 метра. Дно неровное с редкими участками глубиной до 12 метров. Примем  $h_{\min} = 4$  м,  $h_{\max} = 12$  м.

Рассмотрим ситуацию, когда речное судно достаточно долго двигалось по участку  $h = 4$  м, затем прошло участок  $h = 12$  м и опять вышло на участок с глубиной  $h = 4$  м. Для начала, определим максимально допустимую скорость, с которой судно может двигаться на участке  $h = 4$  м. Для этого оценим изменение осадки. При исследовании изменения осадки применяют отношение  $h_r = \frac{h}{T}$ . Для выбранного теплохода (при глубине 4 м)  $h_r \approx 1,14$ . Согласно диаграммам, приведенным в [5] определим, что осадка кормой при движении с проектной скоростью 5 м/с [6] может достигать 4,12 метра. Если снизить линейную скорость, то этого можно избежать. При  $Fr_h < 0,4$  осадка кормой не будет превышать 3,77 метра. Такие значения  $Fr_h$  достигаются при значениях скорости  $v < (Fr_h * \sqrt{gh})$ , то есть  $v < 2,5$  м/с (9 км/ч) или  $Fr < 0,07$ . Таким образом, судно должно двигаться по мелководному участку со скоростью не более 9 км/ч. Необходимость снижения скорости должно учитываться в алгоритме управления для обеспечения безаварийности.

#### Список литературы:

- [1] Гидродинамика судов на мелководье. Басин А.М., Веледницкий И.О., Ляховицкий А.Г. – Л.: Судостроение, 1976. – 320 с.
- [2] Ходкость и управляемость судов. Басин А.М. – М.: Транспорт, 1977. – 455 с.
- [3] Управляемость корабля и автоматизация судовождения. Соболев Г.В. – Л.: Судостроение, 1976. – 477 с.
- [4] Фейгин М.И., Чиркова М.М. О существовании области пониженной управляемости для судов, неустойчивых на прямом курсе. Известия АН СССР. Механика Твёрдого Тела, 1985. №2. С. 73–78.
- [5] Басин А.М., Веледницкий И.О., Ляховицкий А.Г. Гидродинамика судов на мелководье. Л.: Судостроение, 1976. 320 с.
- [6] Справочник по серийным транспортным судам. Том 2. ЦБНТИ МРФ. М.: Транспорт, 1973. 296 стр.