

УДК 656.61.052.4

**В.П. Коновалов, канд. техн. наук**

*Севастопольский национальный технический университет*

*Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053*

[root@sevgtu.sebastopol.ua](mailto:root@sevgtu.sebastopol.ua)

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПОВОРОТОМ СУДНА**

*Предложена методика оценки поворотливости судов смешанного плавания. Приведены результаты экспериментального управления поворотом судна, которые могут быть использованы в авторулевых.*

Автоматизация процессов управления движением судна является одной из важнейших проблем. От эффективности работы судовой автоматики зависит безопасность плавания и экономическая эффективность работы флота.

Наиболее широко ведутся работы по поиску оптимальных методов выполнения поворотов судна при изменении условий плавания, скорости хода, загрузки судна, эффективности рулевых устройств. Решению этой задачи посвящен ряд работ [1–3].

Целью статьи является разработка критерия поворотливости судов смешанного плавания и определение алгоритма управления рулем при повороте с учетом маневра «одерживание» при автоматическом управлении.

Работы в области автоматизации маневрирования судов базируются исключительно на линейном моделировании динамики линейных систем. Опыт показывает, что даже при умеренных маневрах гидродинамические

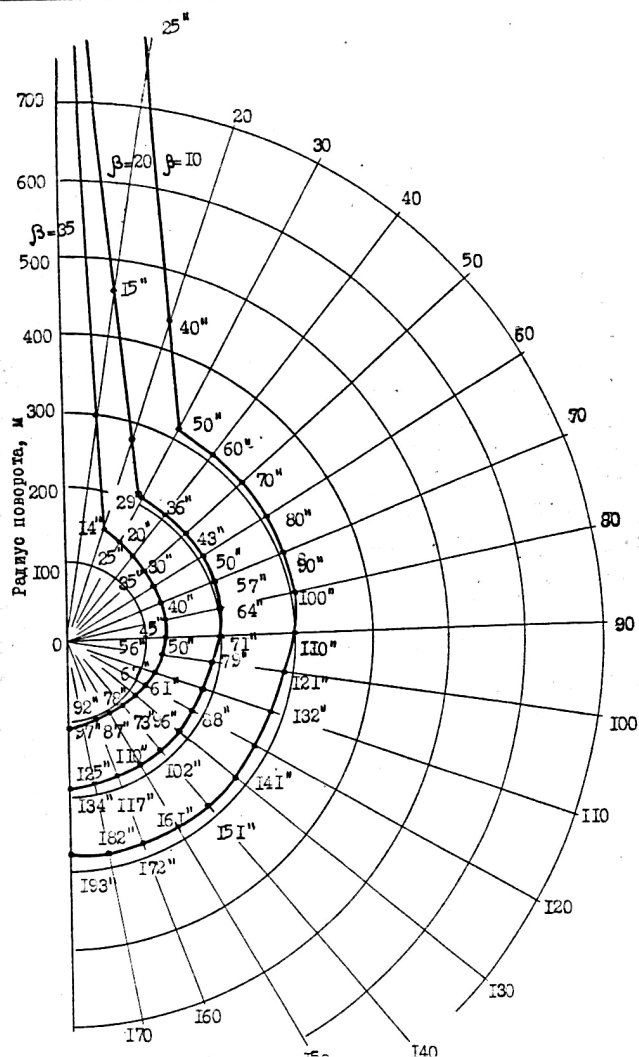


Рисунок 1 – Диаграмма поворота судна типа «Сормовский»:

R – радиус поворота;  $\beta$  – угол перекладки руля

силовые и моментные характеристики существенно нелинейны, поэтому линейный подход остается приемлемым только для судов, сохраняющим прямолинейное направление движения. В общем случае динамика маневрирующих судов характеризуется нелинейностью, что обуславливает повышение роли экспериментальных исследований маневренности судов.

Расчетных формул, определяющих зависимость времени перекладки руля от радиуса циркуляции, нет. Основным источником для определения радиуса поворота судна являются натурные испытания.

Для этого были проведены натурные испытания судна смешанного плавания типа «Сормовский», имеющего сложный движительно-рулевой комплекс и лучшую поворотливость по сравнению с морскими судами. Результаты натурных испытаний показаны на рисунке 1. Оформление результатов можно представить в виде диаграммы зависимостей радиуса поворота  $R$  от угла перекладки руля  $\beta$ . Испытания проведены в условиях глубокой воды при стандартных условиях испытаний, т. е. при волнении 1–2 балла, ветер 2–3 балла, скорость полного хода судна типа «Сормовский» – 5,14 м/с.

Испытания поворотливости судов смешанного плавания и анализ практики выполнения поворотов позволил предложить критерий поворотливости

$$R_{\varphi=30} = 1,25V/T_{\beta=10},$$

где  $R_{\varphi=30}$  – радиус поворота при изменении курса на 30 градусов, м;  $V$  – скорость полного хода, м/с;  $T_{\beta=10}$  – время поворота судна на 30 градусов при постоянном отклоненном руле на 10 градусов, с; 1,25 – коэффициент, полученный на основании экспериментальных данных.

Радиусы поворотов судов смешанного плавания по критерию  $R_{\varphi=30}$  представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты натурных испытаний

| Тип судна  | Скорость полного хода, м/с | Время поворота, с | Радиус поворота $R_{\varphi=30}$ |
|------------|----------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Сормовский | 5,14                       | 50                | 321                              |
| Балтийский | 5,66                       | 43                | 304                              |
| Волго-Балт | 5,08                       | 49                | 311                              |
| Морской    | 6,11                       | 42                | 320                              |

Указанные в таблице радиусы поворотов судов являются предельно допустимыми дистанциями сближения с препятствиями, находящимися прямо по курсу. В автоматизированной системе управления судном при сближении на данную дистанцию должен срабатывать автоматически сиг-

нал судоводителю. Уменьшение скорости хода судна и (или) перекладка руля более 10 градусов значительно сокращает радиус поворота и дает возможность судоводителю успешно и безаварийно осуществлять плавание.

Одним из видов аварий судов, приносящих значительные убытки, является столкновение. Наиболее тяжелые последствия бывают от столкновения на встречных курсах. В качестве безопасного траверзного расстояния между судами при расхождении может быть принята дистанция безопасного гидродинамического взаимодействия. В [2] эта дистанция ( $D$ ) определяется соотношением

$$D > 7B,$$

где  $B$  – ширина меньшего судна, м.

В работе И.М. Короткина „Аварии и катастрофы кораблей” дистанция безопасного гидродинамического взаимодействия определяется выражением  $D > 1,5 L \operatorname{tg} 30^\circ$ , где  $L$  – длина большего судна, м.

По нашим данным безопасное расстояние с учетом равенства силы гидродинамического взаимодействия рулевой силе при отклонении руля на 10 градусов может определяться неравенством  $D \geq 25 T$ , где  $T$  – осадка меньшего судна, м.

Уклонение судна от курса для обеспечения траверзного расстояния между судами более дистанции гидродинамического взаимодействия может быть определено по выражению

$$\sin \varphi = \frac{D}{V t_n},$$

где  $V$  – скорость хода, м/с;  $t_n$  – время поворота, с;  $\varphi$  – угол поворота, град.

На рисунке 2 показаны маневры уклонения судна типа «Сормовский» на дистанцию безопасного гидродинамического взаимодействия. Маневр может быть выполнен при перекладках руля на 10, 20 и 30 градусов при различных алгоритмах управления рулем, которые содержат элемент «одерживания», что повы-

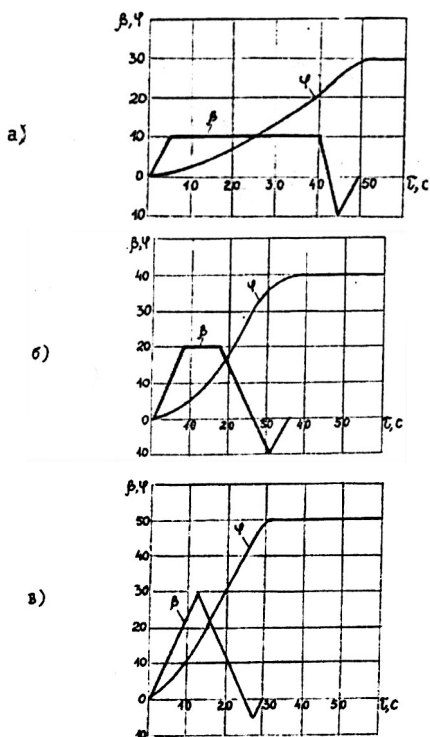


Рисунок 2 – Маневр уклонения судна типа «Сормовский» на дистанцию более 7В:  $\beta$  – угол перекладки руля;  $\varphi$  – угол поворота;  $\tau$  – время поворота; В – ширина судна.

шает качество выполнения поворота при автоматическом режиме управления.

Имея алгоритм управления судном при повороте, можно автоматизировать маневр «координат», т.е. отклонения судна на 30, 40, 60 и 90 градусов от курса и возвращение его на прежний курс. Величина бокового смещения при этом для каждого судна определяется опытным путем.

Для выполнения маневра поворота судна на обратный курс, например, при выполнении спасения человека за бортом угол отклонения судна от курса можно рассчитать по выражению

$$tg\varphi_{OT} = \frac{R}{K_n V t_n},$$

где  $\varphi_{OT}$  - угол отворота от курса, град.;  $R$  – радиус поворота, м;  $K_n$  – коэффициент потери скорости при повороте;  $V$  – скорость хода, м/с;  $t_n$  – время перекладки руля с борта на борт, с.

При этом радиус поворота на 180° градусов снимаем с диаграммы поворота судна.

Сложность автоматизации выполнения поворотов судна заключается в многофакторном влиянии на процесс поворота условий эксплуатации и средств управления судном. Существующие способы автоматического управления поворотом судна основаны на управлении по величине рассогласования между расчетным и фактическим радиусом поворота. Управление по угловой скорости поворота, которая также в процессе поворота не является постоянной величиной, требует для сохранения заданной величины угловой скорости дополнительных перекладок руля, что приводит к увеличению времени запаздывания авторулевого.

Точность выхода на новый курс при повороте с постоянной перекладкой руля остается невысокой, так как после прихода судна на новый курс управление осуществляет авторулевой по закону рассогласования между назначенным и фактическим курсом.

Лучшим решением управления поворотом может быть создание устройств регулирования равновесия судна, при котором угловая скорость поворота имеет линейную зависимость от угла крена и регулирование поворота происходит без запаздывания. Оптимизация автоматического управления поворотом судна возможна при нескольких управляющих органах, что особенно актуально для обеспечения управления «судна будущего».

Полученные результаты позволяют проводить дальнейшее развитие методов повышения точности управления курсом судна на криволинейной траектории движения при маневрировании на ограниченных акваториях и фарватерах, что и составит перспективы дальнейших исследований в данном направлении.

***Библиографический список***

1. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судов / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. — Одесса: Изд-во «Ластар», 2002. — 310 с.
2. Матушкин Ю.М. Управляемость промысловых судов / Ю.М. Матушкин. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 232 с.
3. Березин С.Я., Системы автоматического управления движением судна по курсу / С.Я. Березин, Б.А. Тетюев. — Л.: Судостроение, 1990. — 256 с.

***Поступила в редакцию 05.10.2004 г.***