



УДК 629.5.052.9

**Бычков Владислав Ярославич**, аспирант кафедры радиоэлектроники  
Волжский государственный университет водного транспорта  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

**Плющаев Валерий Иванович**, профессор, д.т.н., зав. кафедрой радиоэлектроники  
Волжский государственный университет водного транспорта  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

### ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОСТИ СУДНА С КОЛЕСНЫМ ДВИЖИТЕЛЬНО- РУЛЕВЫМ КОМПЛЕКСОМ ПРИ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

*Аннотация.* В статье приведены результаты исследования динамических характеристик судна с колесным движительно-рулевым комплексом при реализации алгоритма удержания судна на заданной траектории при внешних воздействиях. Проведен анализ влияния параметров внешнего воздействия (скорости и направления ветра) на качественные показатели процесса управления. Приведены результаты моделирования влияния величины смещения центра парусности судна относительно центра масс на динамику судна.

*Ключевые слова:* судно, колесный движительно-рулевой комплекс, ветровое воздействие, компьютерное моделирование, алгоритм удержания судна на курсе, область управляемости.

За последнее десятилетие в России построено 3 небольших (около 30 м в длину) прогулочных судна с колесным движительно-рулевым комплексом [1, 2], на данный момент в постройке находятся 2 больших судна (около 80 м в длину). На всех судах применяется компьютеризированная система управления [3], связывающая все комплексы судна в единую систему и позволяющая отслеживать и управлять ими напрямую из рулевой рубки. Наряду с функциями дистанционного управления комплексами судна, система позволяет реализовывать интеллектуальные алгоритмы управления, такие как удержания судна на курсе, следования по заданной траектории [4], автоматической швартовки и др.

Большой интерес представляет изучение влияния на качественные показатели процесса управления внешних воздействий при удержании судна на заданной траектории.

Для оценки степени отклонения судна от заданной траектории используется рулевая функция (1), которая учитывает отклонение курса судна от заданного направления; величину угловой скорости; отклонение траектории движения судна от заданной в метрах:

$$Rul = k_{\alpha} * (\alpha - \alpha_z) + k_{\omega} * \omega + k_{\gamma} * (\gamma - \gamma_z), \quad (1)$$

где  $\alpha, \alpha_z$  – текущий и заданный угол курса;  $\omega$  – угловая скорость судна;  $\gamma, \gamma_z$  – текущая и заданная траектория движения;  $k_{\alpha}, k_{\omega}, k_{\gamma}$  – коэффициенты, определяющие вклад каждого из слагаемых в общий результат.

Управление судном с колесным движительно-рулевым комплексом происходит за счет изменения соотношения частот вращения 2 гребных колес, установленных на корме судна. Поворот судна происходит путем увеличения частоты вращения противоположного направлению поворота колеса или уменьшением частоты вращения колеса, расположенного на борту, соответствующем направлению поворота. При формировании управления частотой вращения гребных колес ( $n_i$ ) используется зависимость  $n_i = U_{инов} * n_{max}$ , где  $U_{инов}$  – управляющее воздействие, генерируемое алгоритмом в диапазоне от 0 (колесо неподвижно) до 1 (полный ход), диапазон от 0 до -1 при этом не используется из-за чрезмерной механической нагрузки на движительный комплекс судна.

Для моделирования влияния ветрового воздействия использовалась математическая модель [5], разработанная для судна проекта ПКС 180 «Золотое кольцо» (размеры 81,6 \* 13,8 \* 9,5 м, пассажировместимость 180 человек). Моделировалось движение судна по прямолинейной траектории, совпадающей с осью x. При  $t = 300$  секунд появлялось ветровое воздействие в правый борт.

При постоянном ветровом воздействии на судно алгоритм управления возвращает судно к заданной траектории, постепенно подстраивая положение корпуса и соотношение частот вращения гребных колес таким образом, чтобы компенсировать смещение судна от траектории и разворот судна, вызванный вращающим моментом, создаваемым ветром. При этом появляется незначительная статическая погрешность (отклонение от курса не превышает 1 м при скорости ветра 7 м/с, рис. 1).

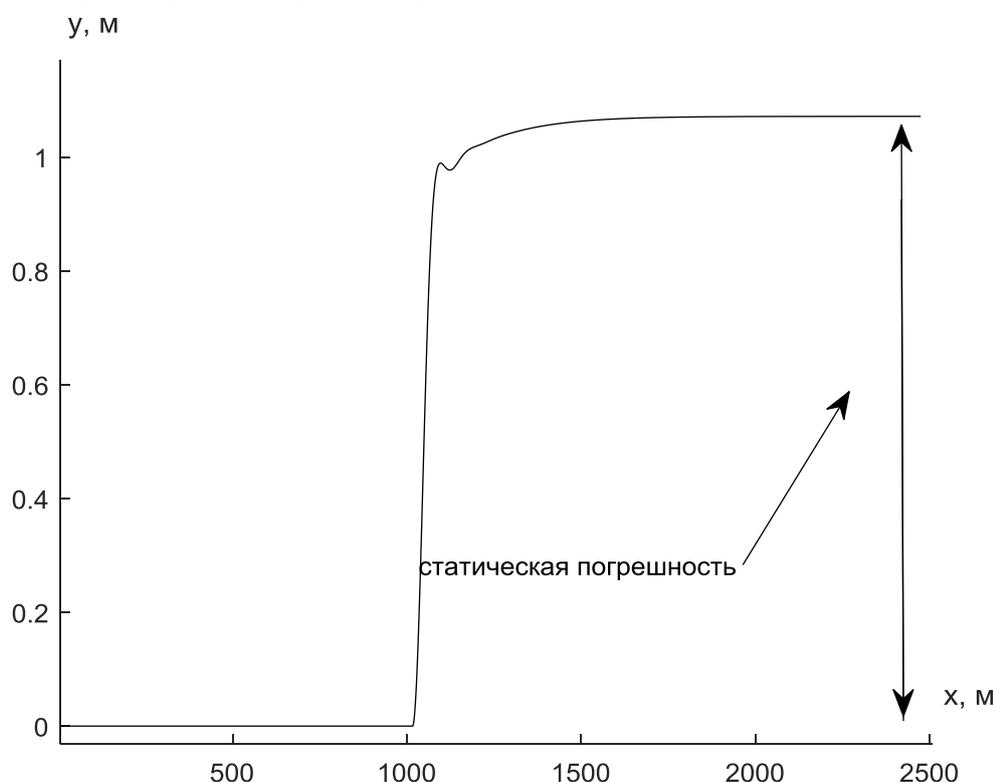


Рис. 1 Траектория движения судна при ветре 7 м/с в правый борт (время 700 секунд)

Такое отклонение допустимо даже в условиях узкого судового хода на реке. Скорость судна при этом сохраняется, угол между курсом и ДП судна составляет 3-4 градуса.

Рассматриваемое судно обладает большой парусностью (около 600 м<sup>2</sup>) при осадке всего в 1,2 м. В результате из-за смещения центра парусности относительно центра масс судна при ветровом воздействии возникает большой вращающий момент. Причем это смещение зависит от степени загрузки судна, размещения тентов на верхней палубе и других параметров. Поэтому представляет большой интерес исследование влияния

величины смещения центра парусности относительно центра масс судна на динамические показатели процесса управления.

В проектной документации величина этого смещения составляет примерно 7 м. На рис. 2 приведены результаты моделирования движения судна по прямолинейной траектории при боковом воздействии ветра при изменении величины смещения центра парусности относительно центра масс судна в диапазоне от 5 до 10 метров с шагом в 1 метр (ветер в правый борт, скорость ветра 7 м/с, время моделирования 700 секунд).

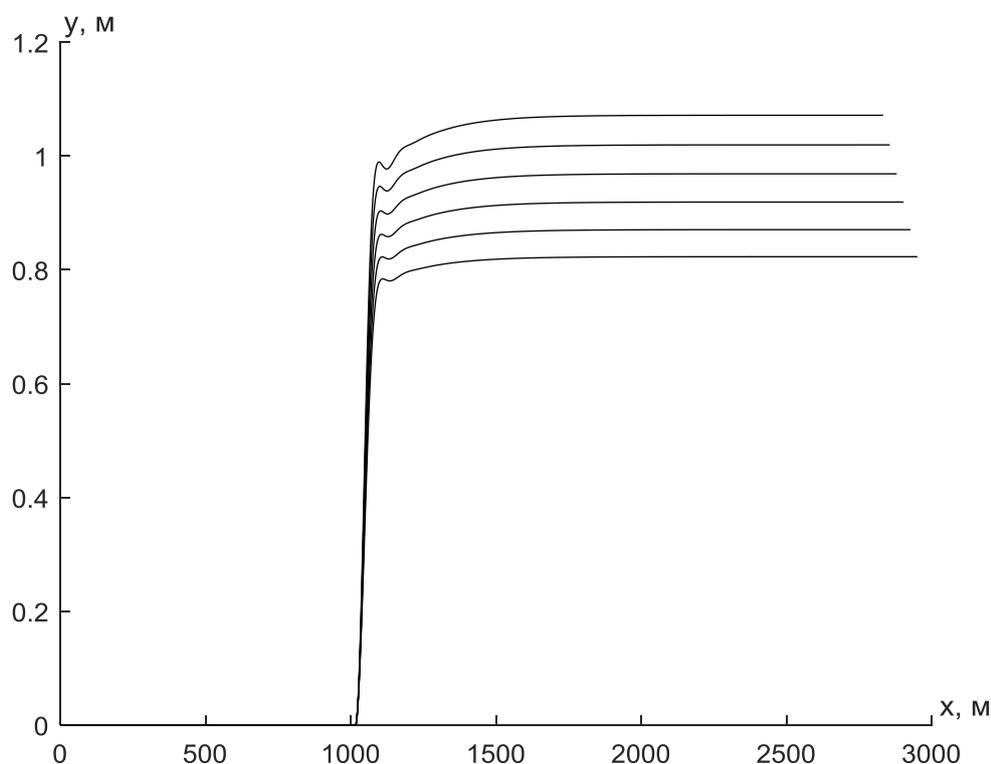


Рис. 2 Траектории движения судна при ветре 7 м/с в правый. Сверху вниз: расстояния между ЦП и ЦМ 5, 6, 7, 8, 9 и 10 метров

Как видно из рис. 2, алгоритм управления обеспечивает движение судна по заданной траектории (с отклонением около 1 м) при ветровом воздействии и существенных изменениях величины смещения центра парусности относительно центра масс судна.

В таблице 1 представлены величины статической погрешности при различных направлениях ветра. Полученные данные позволяют сделать вывод, что возможные изменения величины смещения центра парусности относительно центра масс судна незначительно сказываются на качестве процесса управления и доказывают работоспособность предложенного алгоритма.

Таблица 1 Зависимость статической погрешности от направления ветра.

Расстояние между ЦМ и ЦП, м / Направление ветра, град	20	45	90	135	160
5	0,68	0,58	1,07	0,58	0,35
6	0,68	0,56	1,02	0,56	0,34
7	0,67	0,53	0,97	0,53	0,38
8	0,67	0,50	0,92	0,50	0,32
9	0,66	0,48	0,87	0,48	0,30
10	0,65	0,45	0,82	0,45	0,29

Для реализации алгоритмов управления на судне необходимо создание аппаратной базы для сбора данных (о положении корпуса судна, о скоростях движения и поворота судна, силы и направлении ветра и пр.). Компьютеризированная система управления судном позволяет легко интегрировать дополнительные средства измерения параметров, модифицировать алгоритмы управления, обеспечивая создание единой системы сбора информации, управления технологическими процессами и визуализации данных и параметров управления на пульте оператора. В качестве основы для датчиков возможно использование программно-аппаратной базы Arduino [6]. Arduino позволяет работать с большим количеством различных датчиков и является платформой с открытым доступом и обширным количеством готовых библиотек для выполнения любых задач. В [7, 8] приведены примеры создания судовых измерительных средств на базе Arduino. Разработка комплекса датчиков для судна позволяет реализовать автономные системы управления, не зависящие от берегового оборудования, что является необходимым условием реализации концепции безэкипажного судовождения [9, 10, 11]. Следующим этапом для создания беспилотного судна будет являться создание алгоритма поиска оптимизированного пути [12, 13], соответствующего правилам движения судов и обеспечивающего безопасность судовождения.

### Список литературы:

1. Российский патент № 2225327 от 30.11.2001.
2. Галкин Д.Н. и др. Уникальный туристический теплоход, или как развивать отрасль в современных условиях. // Речной транспорт (XXI век). 2016. – № 2(78). – с. 21-23.
3. Плющаев В.И., Галкин Д.Н., Итальянцев С.А. Компьютеризированная система управления пассажирским колесным теплоходом - Речной транспорт (XXI век). 2014. – № 6 (71), с. 35-37.
4. Бычков В.Я., Грошева Л.С., Плющаев В.И. Динамика судна с колесным движительно-рулевым комплексом в условиях внешних воздействий.- Морские интеллектуальные технологии. 2019. – №4 (46), т.2, с. 139-146.
5. Бычков В.Я., Грошева Л.С., Плющаев В.И. Математическая модель судна с колесным движительно-рулевым комплексом «ЗОЛОТОЕ КОЛЬЦО» – Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2018. –№ 3 –С.36-49.
6. Documentation for Arduino. Режим доступа: <https://www.arduino.cc/en/main/documentation>
7. Бычков В.Я., Гордяскина Т.В., Рубцов А.В., Перевезенцев С.В. О первом опыте создания интеллектуальных датчиков для реализации системы управления судном. // Великие реки 2018: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2018. – Режим доступа: <http://вф-река-море.рф/2018/PDF/68.pdf>. (0,3 печ.л.).
8. Абрамов В.И., Иванов Н.С., Ступин, Н.Е., Гордяскина Т.В., Перевезенцев С.В., Шураев О.П. Разработка интеллектуальных датчиков и алгоритмов для системы мониторинга объектов судовой энергетической установки. // Великие реки 2019: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2019. – Режим доступа: [http://вф-река-море.рф/2019/PDF/9\\_1.pdf](http://вф-река-море.рф/2019/PDF/9_1.pdf). (0,3 печ.л.).
9. SmartDock laser docking aid system. Режим доступа: <https://www.trelleborg.com/marine-and-infrastructure/~-/media/marine--systems/resources/brochures/downloads/dmbrochure.pdf?la=en>
10. Mooring and vessel berth monitoring system moorinet. Режим доступа: <https://moorinet.ru/>
11. Лебедева С.В., Мерзляков В.И. Измерение расстояния до причала с помощью технологии локального позиционирования. // Великие реки 2018: Материалы

международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2018. – Режим доступа: <http://вф-река-море.рф/2018/PDF/74.pdf>. (0,3 печ.л.).

12. Szlapczynski, R., Krata, P., & Szlapczynska, J. A Ship Domain-Based Method of Determining Action Distances for Evasive Manoeuvres in Stand-On Situations. Journal of Advanced Transportation, 2018, 1-19.

A. Lazarowska. Research on algorithms for autonomous navigation of ships. WMU Journal of Maritime Affairs, 2019, 341–358

13. R. Szlapczynski, “A new method of planning collision avoidance manoeuvres for multi-target encounter situations,” The Journal of Navigation, vol. 61, no. 2, pp. 307–321, 2008.

## **RESEARCH OF CONTROLLABILITY OF A VESSEL WITH A WHEEL PROPULSION AND STEERING COMPLEX UNDER EXTERNAL INFLUENCES**

Vladislav Y. Bychkov, Valery I. Plyushchaev

*Annotation. Investigation of the controllability of the algorithm for keeping a ship on course with a wheel propulsion and steering complex under external influences. Study of the dependence of controllability on the directions, wind speeds and various parameters of the vessel.*

*Keywords: ship, wheel propulsion and steering system, wind impact, computer simulation, algorithm for keeping the ship on course, controllability area.*