

УДК 629.5.061.11

Грошева Людмила Серафимовна<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедры радиоэлектроники  
e-mail: kaf\_radio@vsuwt.ru

Плющаев Валерий Иванович<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой  
радиоэлектроники  
e-mail: vip3345@yandex.ru

<sup>1</sup> Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

### ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ДИНАМИКУ КОЛЕСНОГО СУДНА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО КУСОЧНО - ЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ

*Аннотация.* Актуальность исследований управляемости судов в настоящее время возрастает в связи с реализацией концепции безэкипажного судовождения. Использование методов цифрового управления обуславливает необходимость разработки алгоритмов, обеспечивающих высокую эффективность и безопасность в различных условиях плавания. Для судов с колесным движительно-рулевым комплексом, появившихся в стране, эта область остается малоисследованной. Приведены результаты компьютерного моделирования динамики колесного судна при реализации алгоритма, обеспечивающего движение судна по кусочно-линейной траектории.

*Ключевые слова:* судно с колесным движительно-рулевым комплексом, маневрирование, изменение курса, система управления, движение по заданной траектории, ветровое воздействие.

При разработке системы управления движением судна по траектории, заданной в картографической системе в виде опорных точек, между которыми осуществляется прямолинейное движение, необходимо учитывать много параметров, зависящих как от конструктивных особенностей судна (инерционность, устойчивость и т.д.), так и внешних факторов (скорости и направления ветра и течения, глубины судового хода и пр.). Методы компьютерного моделирования позволяют на этапе проектирования системы управления изучить ее качественные показатели при работе судна в различных эксплуатационных условиях [1]. Актуальность исследований в этой области возрастает в связи с реализацией концепции безэкипажного судовождения [2,3]. Для колесных судов нового типа эти вопросы являются малоисследованными.

Выполнение маневра перехода с одного участка прямолинейного движения на другой является наиболее сложной задачей. Для решения этой задачи для колесного судна в работе [4] был предложен метод введения дополнительных систем координат, связанных с текущими участками траектории движения.

В [5,6] при формировании управления гребными колесами для оценки качества управления предложена функция:

$$F = k_{\alpha}(\alpha - \alpha_0) + k_{\omega}\omega + k_y(y - y_0),$$

где  $(\alpha - \alpha_0)$ —отклонение от заданного курса судна, рад;  
 $\omega$  - угловая скорость поворота судна, рад/с;

$(y - y_0)$  - отклонение от заданной траектории ( $m$ ) в подвижной системе координат, связанной с последующим участком траектории;

$k_\alpha, k_\omega, k_y$  - коэффициенты пропорциональности .

При движении судна по прямой основное значение имеют коэффициенты  $k_\alpha, k_y$ , при изменении курса  $k_\omega, k_y$  (обусловлено высокой инерционностью судна). Выбор соответствующего соотношения коэффициентов позволил использовать данный алгоритм при смене курса судна с минимальными механическими нагрузками на гребные колеса.

Управляющие воздействия на гребные колеса формируются по следующему принципу. При приближении к точке смены курса начинает использоваться система координат, связанная с новым участком траектории. Если судно отклонилось влево от нового участка траектории, то сигнал управления  $U1$  для частоты вращения левого колеса увеличивается на величину  $|F|$  по отношению к действующему значению. Если полученный сигнал управления больше максимально допустимого, то  $U1$  для левого колеса принимает максимальное значение, а для правого колеса  $U2$  уменьшается на величину превышения, что позволяет обеспечить необходимую разницу частот вращения гребных колес.

По этому же принципу система управления работает при отклонении вправо от заданного направления.

Частоты ( $n1$  и  $n2$ ) вращения гребных колес связаны с сигналом управления следующим образом

$$n1 = U1 * n_{max}, \quad n2 = U2 * n_{max},$$

$n_{max}$  – предельная частота вращения колеса (1/с).

Разница частот вращения обеспечивает переход судна с прямолинейной траектории на циркуляцию, тем самым обеспечивая выход на новую траекторию. Однако остановить вращение судна, обладающего большой инерцией, в точке выхода на новую траекторию практически невозможно, поэтому разработанный алгоритм обеспечивает переключение в режим обратной циркуляции еще до достижения новой траектории.

Динамика судна при реализации предложенного алгоритма при переходе на новый курс в отсутствии ветра показаны на рис.1.

Как видно из рис.1, переход на новый курс происходит при незначительном числе переключений приводов гребных колес ( $n1$  и  $n2$ ), т.е. минимальных механических нагрузках на приводы гребных колес невысокие.

Направление и сила ветра существенно влияют на динамику судна. Это объясняется спецификой конструкции корпуса судна (большая парусность, плоское дно, малая осадка, несовпадение положения центра парусности относительно центра тяжести). Разворачивающий момент, создаваемый ветром, изменяется в разы при различном направлении ветра. Наибольшее влияние ветра наблюдается при его направлении в нос судна (в секторе  $\pm 45^\circ$ ). Это хорошо видно на рис. 2а (в момент совершения третьего поворота). Встречный ветер приводит к значительным отклонениям от новой заданной траектории. При этом увеличивается число срабатываний приводов гребных колес  $n1$  и  $n2$ . На рис. 2 а,в частота срабатывания колес значительно выше, чем на рис. 2б,г.



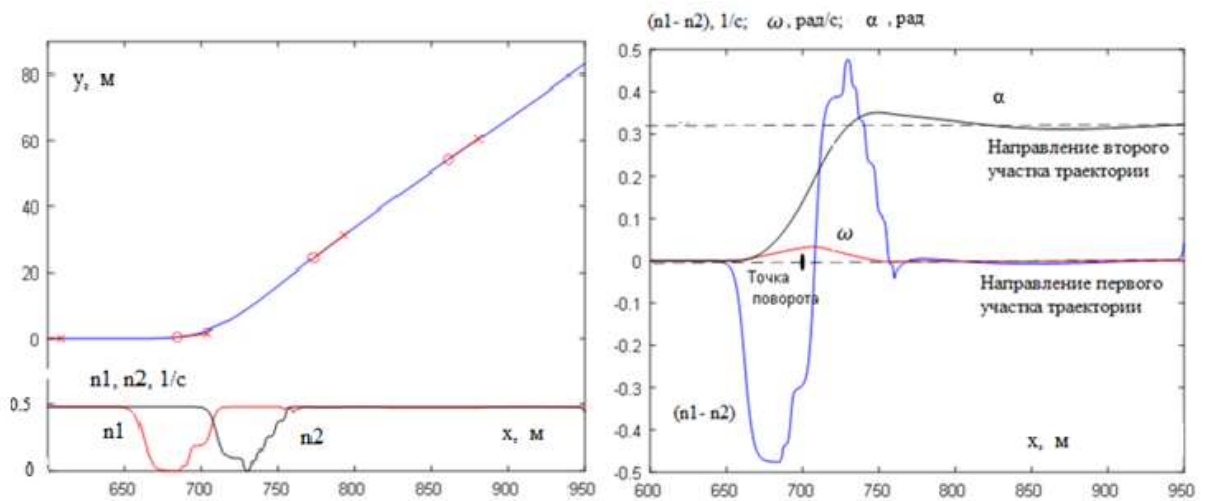


Рисунок 1 – Траектория движения и параметры процесса при смене курса

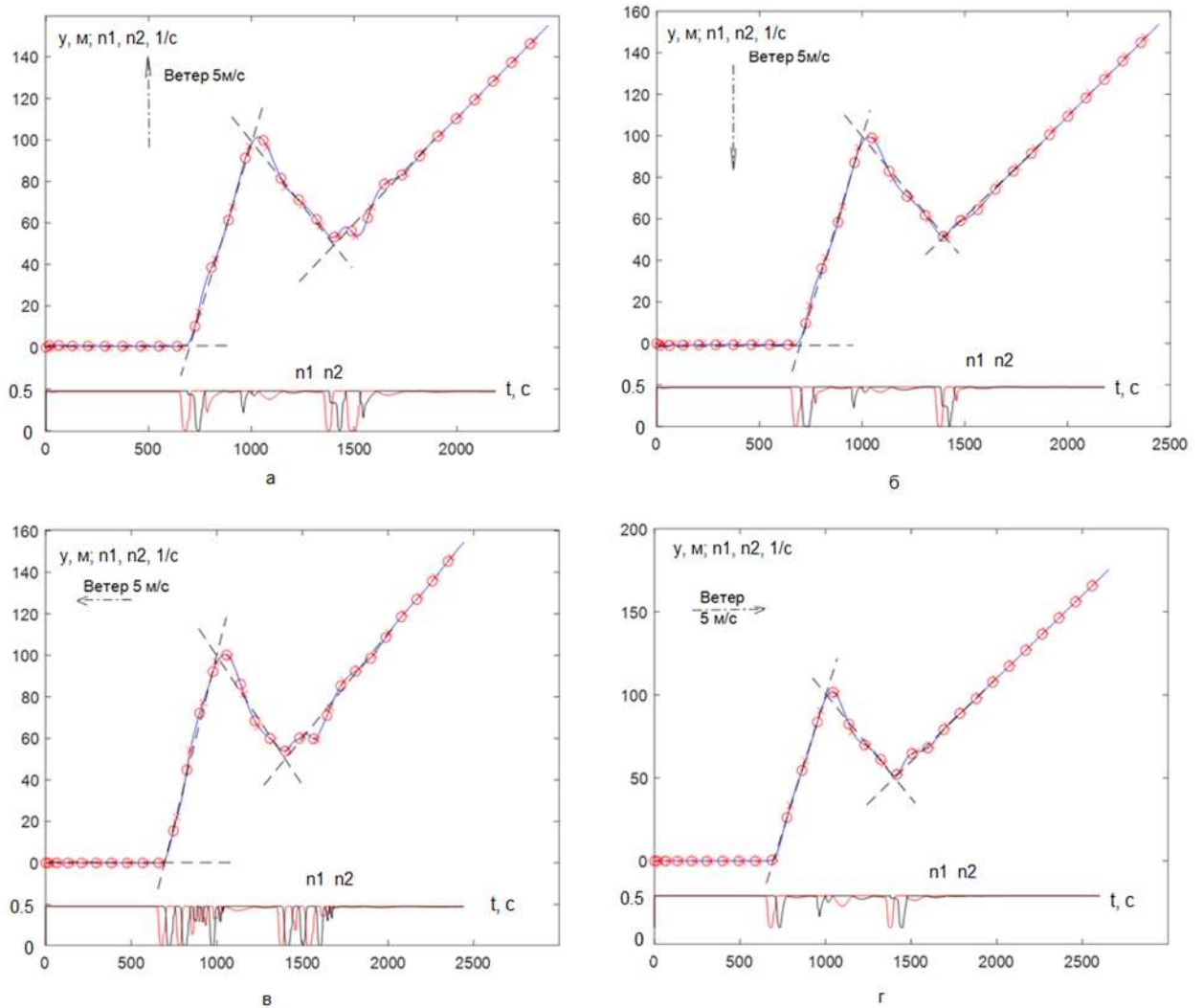


Рисунок 2 – Траектория движения колесного судна при четырех направлениях ветра

Влияние скорости ветра (для  $V_B = 2,5, 5, 7,5$  и  $10$  м/с) на качество управления показано на рис. 3. Отклонения от заданной траектории возрастают с увеличением скорости ветра. При  $V_B > 10$  м/с судно теряет управляемость.

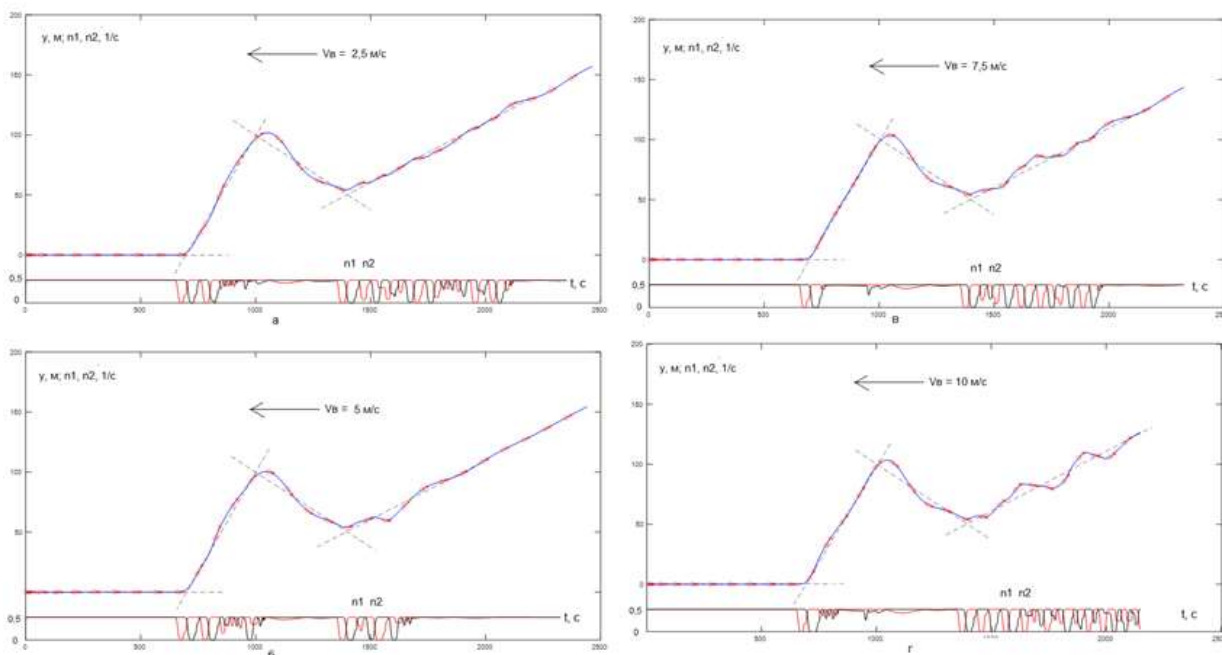


Рисунок 3 – Влияние скорости ветра

Полученные результаты показывают, что алгоритм обеспечивает управление судном при движении по прямолинейному отрезку траектории, переходе на циркуляцию, сходе с циркуляции на следующий прямолинейный участок траектории при отсутствии ветра практически без отклонения, в условиях ветрового воздействия с приемлемой точностью.

#### Список литературы:

1. Бычков В.Я. Грошева Л.С., Плющаев В.И. Математическая модель судна с колесным движительно – рулевым комплексом «Золотое кольцо». Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Морская техника и технология. Астрахань. 2018. №3. С. 36-46.
2. Положение по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС) Российский морской регистр судоходства. С.-Петербург, 2020.
3. Ahvenjärvi S. The Human Element and Autonomous Ships. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 10, No. 3, pp. 517-521, 2016
4. Грошева Л.С., Плющаев В.И. Динамика колесного судна при изменении курса. Научные проблемы водного транспорта. 2023.- №74(1), с. 174 - 183
5. 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.
6. Грошева Л.С., Плющаев В.И. Адаптивный алгоритм удержания судна с колесным движителем на курсе. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 43. Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2015. с.48-55.

# THE EFFECT OF WIND ACTION ON THE DYNAMICS OF A WHEELED VESSEL WHEN MOVING ALONG A PIECEWISE LINEAR TRAJECTORY

Ludmila S. Grosheva, Valery I. Plyushchaev

*Abstract.* The relevance of ship handling studies is currently increasing due to the implementation of the concept of bookless navigation. The use of digital control methods necessitates the development of algorithms that ensure high efficiency and safety in various swimming conditions. For ships with a wheeled propulsion and steering system that have appeared in the country, this area remains poorly investigated. The results of computer simulation of the dynamics of a wheeled vessel in the implementation of an algorithm that ensures the movement of the vessel along a piecewise linear trajectory are presented.

*Keywords:* a vessel with a wheeled propulsion and steering system, maneuvering, course change, control system, movement along a given trajectory, wind impact.

