

УДК 629.5.053

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА
УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО КОЛЁСНОГО
СУДНА ПО ФИКСИРОВАННОМУ МАРШРУТУ**

Грошева Людмила Серафимовна¹, кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектроники

e-mail: kaf_radio@vsuwt.ru

Плющаев Валерий Иванович¹, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиоэлектроники

e-mail: vip3345@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье предложен вариант использования группы автономных судов для обслуживания экскурсионного маршрута. Проведено математическое моделирование движения судна по заданному маршруту при различных эксплуатационных условиях. Определена область применимости предложенных алгоритмов управления автономными судами при выполнении фиксированного маршрута в условиях внешних воздействий.

Ключевые слова: колесные суда, автономное судовождения, динамические характеристики, алгоритмы управления, судовождение в условиях внешних воздействий.

**MODELLING THE IMPACT OF EXTERNAL DISTURBANCES ON THE STABILITY
OF AN AUTONOMOUS WHEELED VEHICLE FOLLOWING A FIXED ROUTE**

Lyudmila S. Grosheva¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of Radio Electronics

e-mail: kaf_radio@vsuwt.ru

Valery I. Plyushchaev¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Radio Electronics

e-mail: vip3345@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article proposes the use of a group of autonomous vessels to serve an excursion route. Mathematical modeling of the vessel's movement along a specified route under various operating conditions has been conducted. The article determines the applicability of the proposed algorithms for controlling autonomous vessels when following a fixed route under external influences.

Keywords: wheeled vessels, autonomous navigation, dynamic characteristics, control algorithms, and navigation in external conditions.

Правильный выбор объектов для реализации задач автономного судовождения может обеспечить получение эффективных решений - разумные затраты на переоборудования судов, интенсификация эксплуатации судов, уменьшение экипажа, повышение безопасности и пр. Наибольшей результативности можно добиться при реализации автономного судовождения для однотипных судов, эксплуатируемых в ограниченной зоне, работающих в составе группы, выполняющих фиксированные маршруты сравнительно небольшой протяженности и не требующих сложного маневрирования, сравнительно простой конструкции (не предназначенных для выполнения сложных технологических операций). Ограниченный район плавания позволит организовать контроль и управление автономными судами при возникновении нештатных ситуаций с использованием наземных сетей связи (интернет, радиомодемы, локальные сети радиосвязи).

Этим условиям удовлетворяет группа прогулочных колесных судов фирмы «ГАМА», совершающих часовые рейсы по фиксированному маршруту в Нижнем Новгороде. На рис. 1 представлен записанный трек теплохода «Колесовъ».

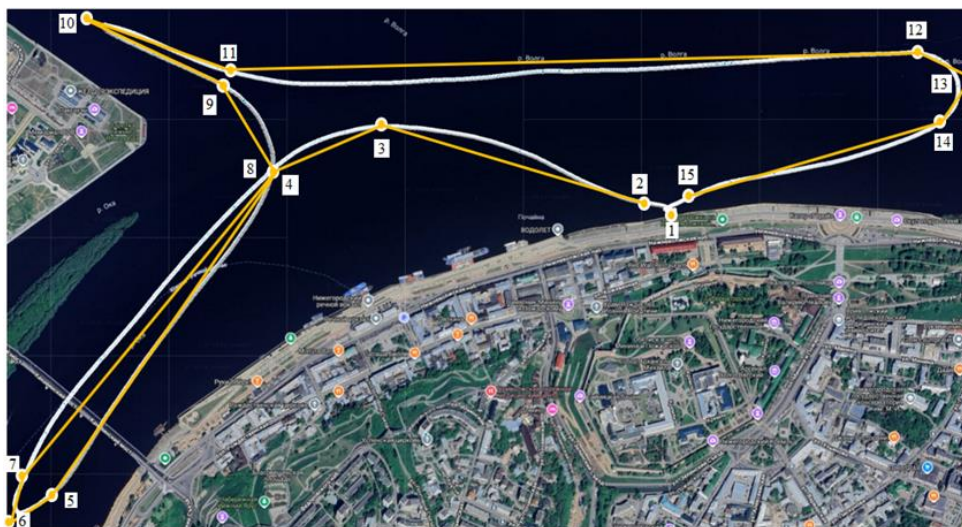


Рисунок 1 – Трек пассажирского прогулочного колесного теплохода и опорные точки для задания маршрута

Разработанные математические модели колесных судов [1-3] позволили отработать набор алгоритмов, обеспечивающих выполнение отдельных маневров и позволяющих в совокупности реализовать перемещение по любому заданному маршруту. На рис. 1 представлен вариант аппроксимации реального маршрута отрезками прямой (точки 1 - 15). На отдельных участках задаются необходимые параметры (например, скорость судна для выдерживания графика движения). На рис. 2а показаны результаты машинного моделирования движения судна по заданному маршруту (опорные точки маршрута приведены на рис. 1, они же отображены на рис. 2а) без ветрового воздействия. При формировании маршрута запланировано снижение скорости при совершении разворотов на участках 5 - 6 - 7, 9 - 10 - 11, 12 - 13 - 14, при этом управляющее воздействие на приводы гребных колес снижалось до $U_{упр} = 0.25$, остальные участки проходились при $U_{упр} = 0.75$ (управляющее воздействие может меняться в пределах $0 < U_{упр} < 1.0$). При установившихся значениях скорость судна равна $V_c = 13.5$ км/ч для $U_{упр} = 0.25$ и $V_c = 4.5$ км/ч для $U_{упр} = 0.75$. На рис. 2б отображены изменения скорости движения судна и частоты вращения гребных колес (цифрами обозначены моменты прохождения опорных точек маршрута).

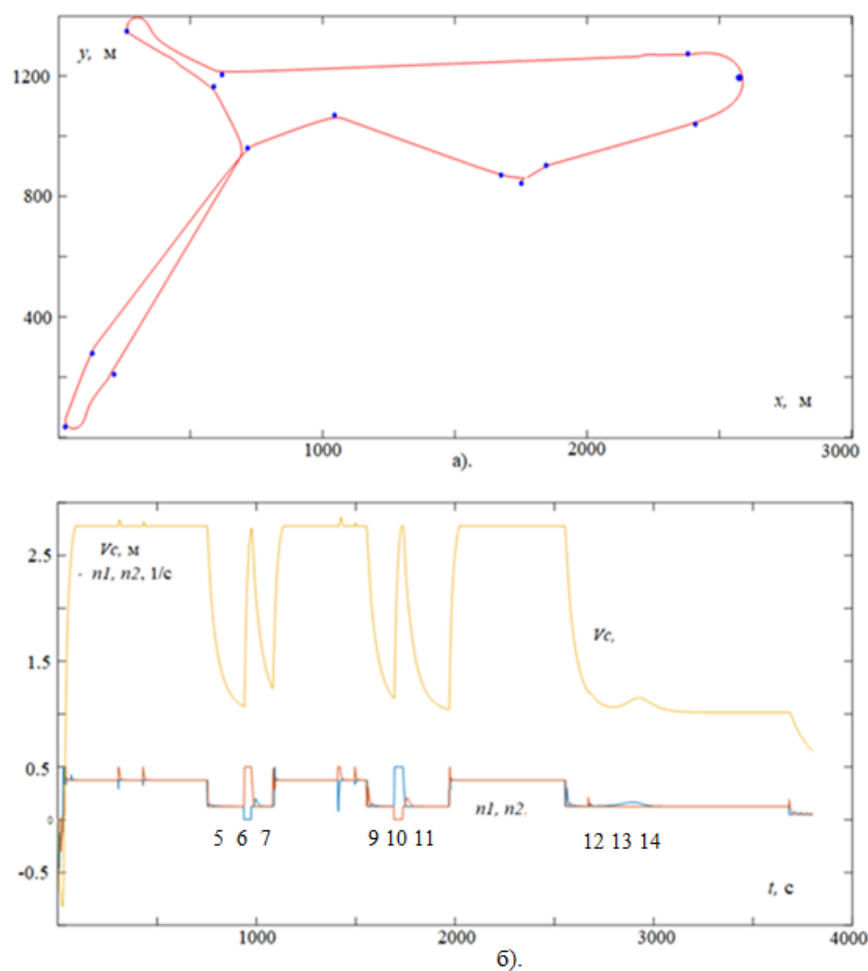


Рисунок 2 – Моделирование движения по маршруту без ветрового воздействия

В связи с особенностью конструкции колесного судна (бескилевое мелкосидящее судно с большой парусностью) его динамика существенно зависит от ветрового воздействия, наблюдается ухудшение управляемости судна. На рис. 3 представлены фрагменты траектория при прохождении поворота (точки 8 – 10 – 11) для различных значений скорости северного ветра $V_v = 0,5$ и $7,5$ м/с, соответственно, при $U_{упр} = 0.25$.

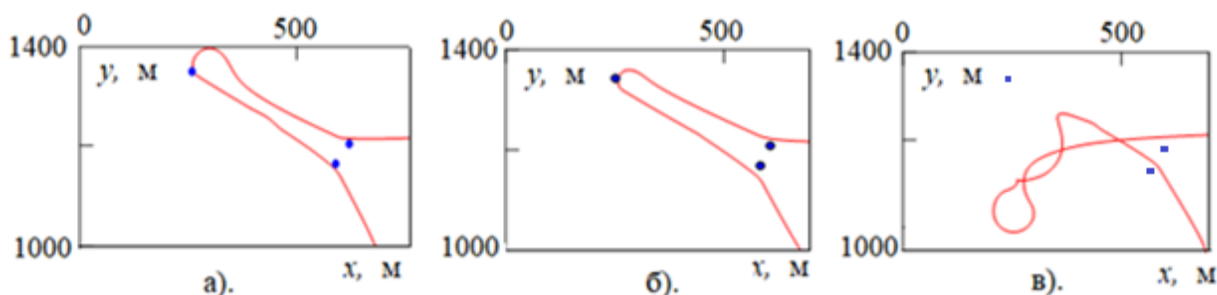


Рисунок 3 – Фрагменты траектории для различных скоростей ветра:
а) $V_v = 0$ м/с; б) $V_v = 5$ м/с; в) $V_v = 7.5$ м/с

На рис. 3 а, б наблюдается некоторое смещение траектории относительно опорных точек, приемлемое для практики. При $V_v = 7.5$ м/с судно хоть и выходит на заданный курс, но поворот осуществляет по непредсказуемой траектории. Это объясняется тем, что развиваемы гребными колесами упоры не способны скомпенсировать ветровое воздействие

на корпус. Избежать подобных ситуаций можно выбором величины управляющего воздействия на гребные колеса Уупр в соответствии с реальными значениями параметров ветра на данном промежутке времени. Сказанное проиллюстрировано на рис. 4., где приведены результаты моделирования движения судна по маршруту при северном ветре $V_v = 7.5$ м/с для $U_{упр} = 0.75$. Судно проходит маршрут по заданным опорным точкам за 45 мин.

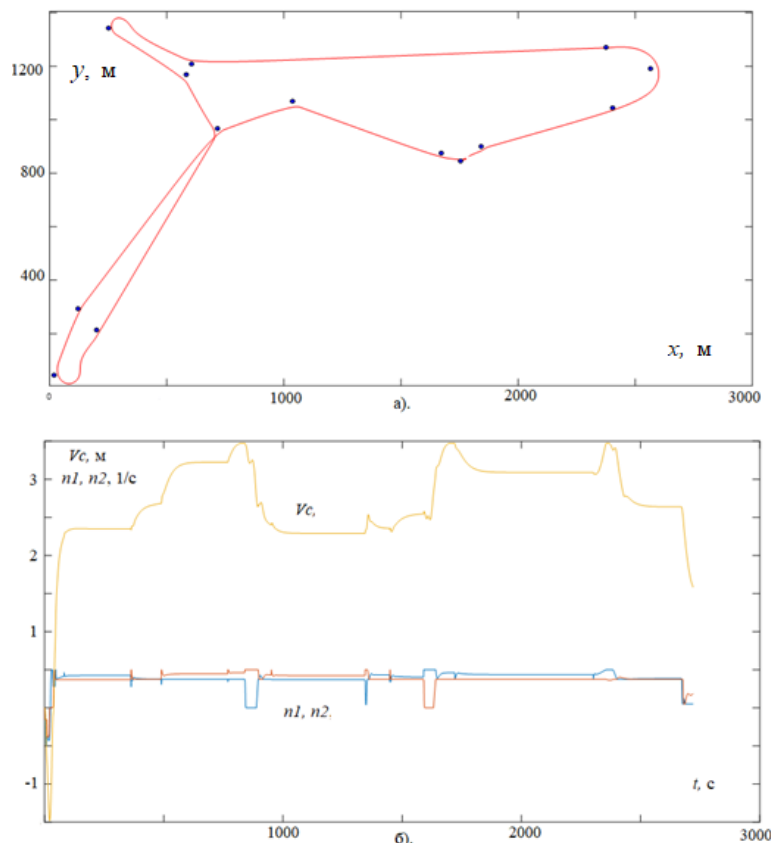


Рисунок 4 – Динамические характеристики судна при $V_v = 7.5$ м/с и $U_{упр} = 0.75$

Практический интерес представляет изучение области применимости разработанных алгоритмов для обеспечения выполнения судном фиксированного маршрута от условий эксплуатации, в том числе ветрового воздействия.

Проведено моделирование возможности выполнения маршрута для разных направлений ветра (север – восток – юг – запад) в широком диапазоне значений скорости ветра для $U_{упр} = 0.25, 0.5$ и 1.0 . Критерием являлся уход судна с заданного маршрута в любой его точке (критерий «удержание на маршруте»). Область применимости приведена на рис. 5а в виде лепестковой диаграммы, показывающей максимально допустимую скорость ветра в зависимости от его направления и управляющего воздействия на гребные колеса Уупр. На рис. 5б показана допустимая область эксплуатации (под кривой) в которой гарантируется прохождение маршрута судном.

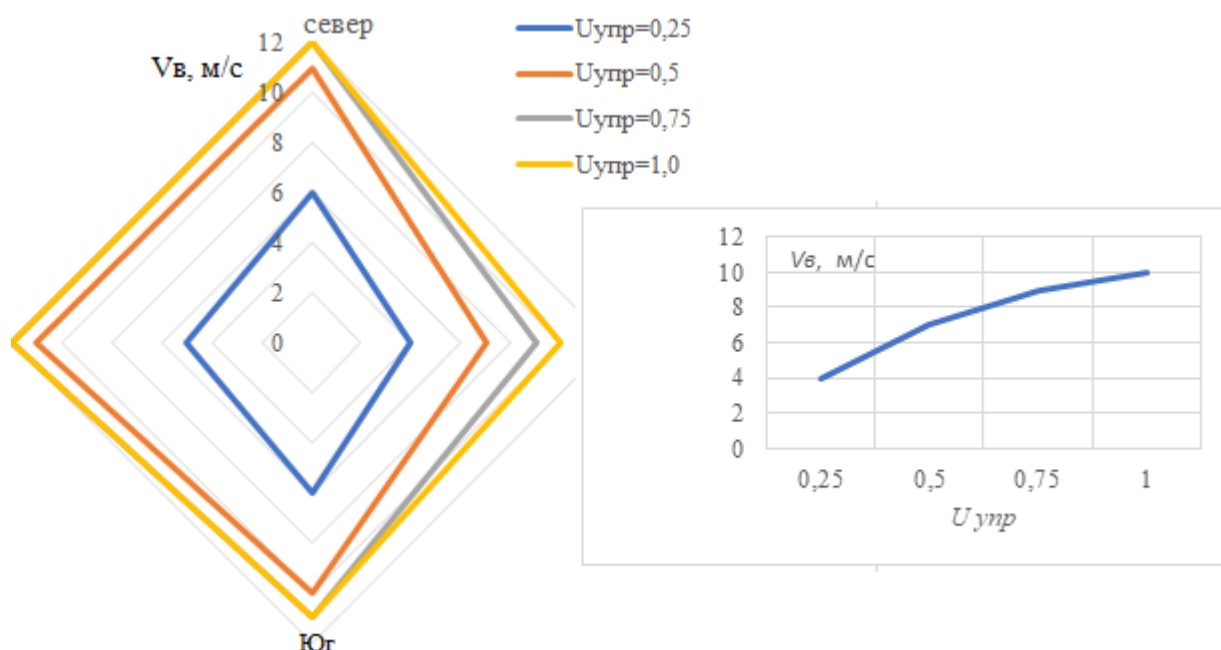


Рисунок 5 – Области работоспособности алгоритмов управления по критерию «удержание на маршруте»

На основании изложенного, можно сделать вывод о возможности реализации обслуживания фиксированных маршрутов автономными судами на базе набора алгоритмов управления при сравнительно небольших затратах на аппаратное обеспечения системы.

Список литературы:

1. Мерзляков В. И. Математическая модель комплекса корпус – движитель судна с колесными гребными движителями // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – Астрахань. 2012. № 1. С. 56–61.
2. 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 техники и технология. - Астрахань. 2018. №3. С.36-49.
3. Бычков В.Я. Грошева Л.С., Плющаев В.И. Расчет сил ветрового воздействия на корпус судна с колесно-двигательным рулевым комплексом. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2018. – Выпуск 55. С. 11-20.