



УДК 629.5.061.11

Бычков Владислав Ярославич, студент электромеханического факультета ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Дудина Анастасия Васильевна, студент электромеханического факультета ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ УПРАВЛЯЕМОСТИ СУДНА ПРИ ВЕТРОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

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

Определение области управляемости судна с колесным движительно-рулевым комплексом и большими габаритами при использовании алгоритма удержания на курсе и различных направлениях ветра. Исследование зависимости отклонения курса от скорости ветра.

Значительное влияние ветрового воздействия на управляемость судна требует проведения исследований для определения области устойчивого управления движением судна на курсе. В первую очередь это касается судов, имеющих большие габариты. Новое судно с колесным движительно-рулевым комплексом [1] строящееся в России имеет длину в 80 метров. Особенность управления судном с таким типом движителя заключается в раздельном управлении гребными колесами, что позволяет изменять направление движения без использования традиционного руля. В связи с сложностью такого управления на судах применяются компьютеризированные системы управления [2]. На их базе возможна реализация алгоритмов автоматического управления [3].

На кафедре радиоэлектроники был предложен алгоритм удержания судна на заданной траектории [4,5,6]. Данный алгоритм упрощает задачи судоводителя, благодаря компьютеризированной системе управления. Судоводитель должен только задать скорость и курс судна, а компьютер рассчитает необходимые частоты вращения гребных колес.

Для выработки управляющих воздействий была предложена рулевая функция

$$W_2 = k_l * (\beta - \beta_z) + k_s * \omega + k_0 * (\gamma - \gamma_z), \quad (3)$$

где β_z – угловое отклонение судна от заданного курса;

ω – угловая скорость поворота судна;

γ_z – отклонение от заданной траектории движения;

k_l, k_s, k_0 – коэффициенты, определяющие вклад каждого из слагаемых в общий результат.

Разработанный алгоритм управления колесным теплоходом предполагает наличие на судне дорогостоящих спутниковых навигационных систем, датчиков угловой скорости и т.д., но зато позволит судам ходить по любой заданной траектории с высокими качественными показателями управляемости.

Данный алгоритм был разработан для использования на малых колесных судах, таких как «Сура», «Колесовъ», «Доброходъ» и не исследовался на предмет применения для крупногабаритного судна.

Кроме того, ранее не проводилось исследование характеристик предложенного алгоритма для использования при ветровом воздействии, и не определялась область управляемости судов в зависимости от скорости и направления ветра.

Для обеспечения безопасности пассажиров и экипажа при движении судна в условиях ветровых воздействий разных сил и направлений необходимо знать предельно-допустимые значения ветров по силе и направлению, при которых судно управляется и при превышении которых, управление невозможно.

Изменение курса судна с колесно-двигательным рулевым комплексом можно осуществить несколькими методами:

1. Уменьшением частоты вращения гребного колеса со стороны того борта, на который осуществляется поворот, при этом скорость судна снижается.
2. Увеличением частоты вращения гребного колеса со стороны борта, противоположного направлению поворота, при этом скорость судна увеличится.
3. Использование 1 и 2 метода совместно.

При выборе метода управления следует учесть ограничения диапазона изменения частоты вращения. Третий же метод применим в основном для маневренных режимов.

Можно сформировать следующие алгоритмы управления:

- с увеличением скорости:

$$U_{1н} = \begin{cases} U_{1с} + W_2 * (U_{max} - U_{1с}) & \text{при } W_2 > 0; \\ U_{ход} & \text{при } W_2 \leq 0; \end{cases} \quad (4)$$

$$U_{2н} = \begin{cases} U_{2с} - W_2 * (U_{max} - U_{2с}) & \text{при } W_2 < 0; \\ U_{ход} & \text{при } W_2 \geq 0; \end{cases} \quad (5)$$

- с потерей скорости:

$$U_{1н} = \begin{cases} U_{1с} + W_2 * U_{1с} & \text{при } W_2 < 0; \\ U_{ход} & \text{при } W_2 \geq 0; \end{cases} \quad (6)$$

$$U_{2н} = \begin{cases} U_{2с} - W_2 * U_{2с} & \text{при } W_2 > 0; \\ U_{ход} & \text{при } W_2 \leq 0; \end{cases} \quad (7)$$

где $U_{1с}$, $U_{2с}$ – текущие значения управляющих воздействий на приводы гребных колес;

$U_{1н}$, $U_{2н}$ – вновь формируемые значения управляющих воздействий на приводы гребных колес;

$U_{ход}$ – заданное значение скорости судна;

U_{max} – максимальное значение скорости судна.

Для определения области управляемости судна было выполнено компьютерное моделирование движения судна на разной скорости хода при различных скоростях и направлениях ветра. Было проведено моделирование движения судна в трех случаях:

- 1) Ветер под углом $\varphi = \pi/4$ (в корму справа). При этом скорость судна увеличивалась от малого до полного хода с шагом $0,1 U_{хода}$, а сила ветра

возрастала от 1 м/с до предельного значения, при котором судно имело возможность управления;

- 2) Ветер под углом $\varphi = \pi/2$ (в борт), также на разной скорости хода и при разной силе ветра;
- 3) Ветер под углом $\varphi = 3 * \pi/4$ (в правую скулу), исследование производилось на разной скорости хода при различной скорости ветра.

В процессе расчетов осуществлялся подбор коэффициентов алгоритма управления, для обеспечения устойчивого управления при наибольшей силе ветра, при которой сохраняется работоспособность.

По результатам первого эксперимента выявлено, что можно подобрать коэффициенты алгоритма для устойчивого движения по курсу для каждой скорости хода. При этом максимальная скорость ветра, при которой обеспечивается устойчивое движение, будет разной. (Рис 1, кривая 1). Максимальное отклонение от заданного курса, в данном случае, составляет 0,9 м на малом ходу. Следовательно, при параметрах скоростей ветра и хода, находящихся ниже кривой 1, возможно удержание судна с отклонением от курса менее 1 м.

В условиях широкого судового хода может быть использовано управление с большим допустимым отклонением от заданной траектории. В этом случае область работоспособности алгоритма расширяется (становится предельной областью управляемости), однако, при этом максимальное отклонение от заданного курса возрастает до 3,5 м (Рис. 1, кривая 2).

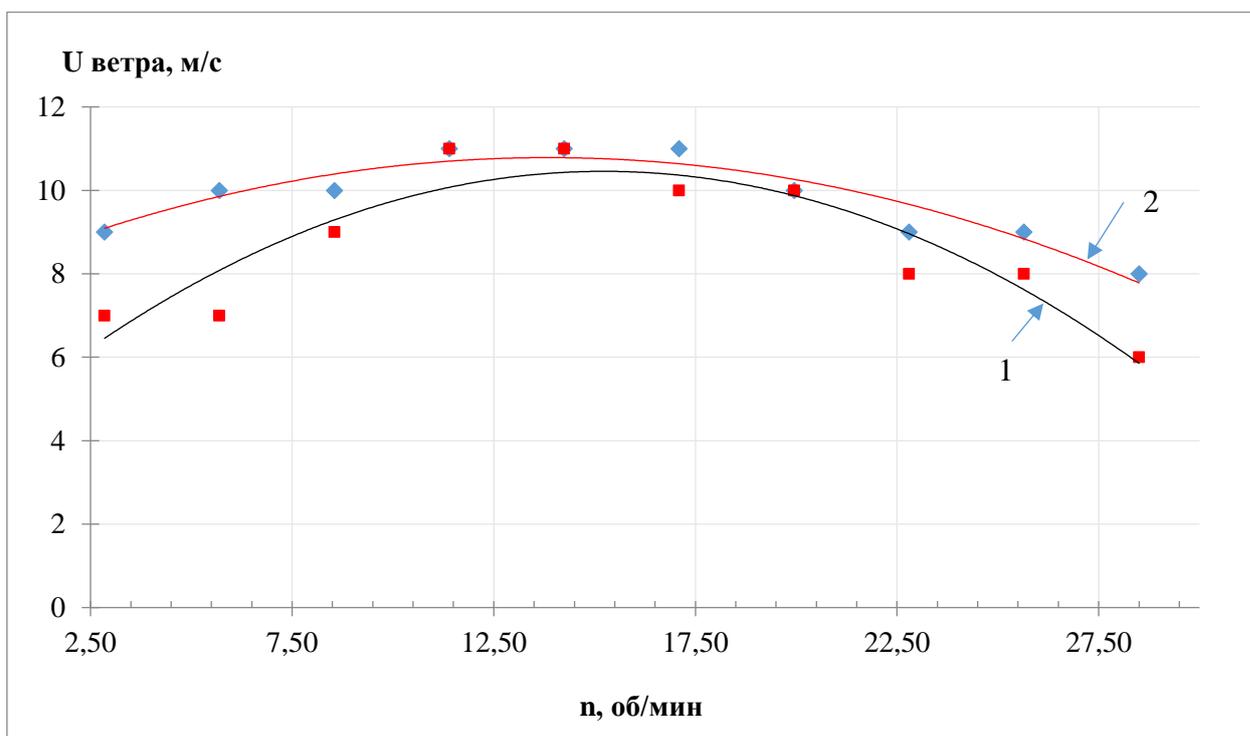


Рис. 1. Область управляемости при $\varphi = \pi/4$
(1 - при максимальном отклонении < 1 м; 2 - предельная область управляемости)

При моделировании также определялось отклонение от курса при различной скорости ветра и скорости хода (усредненное значение представлено на рис. 2). Как видно на рис. 2 с ростом скорости ветра $U_{\text{ветра}}$ увеличивается среднее отклонение от курса, а при скорости ветра выше 10 м/с отклонение уже превышает 1 м.

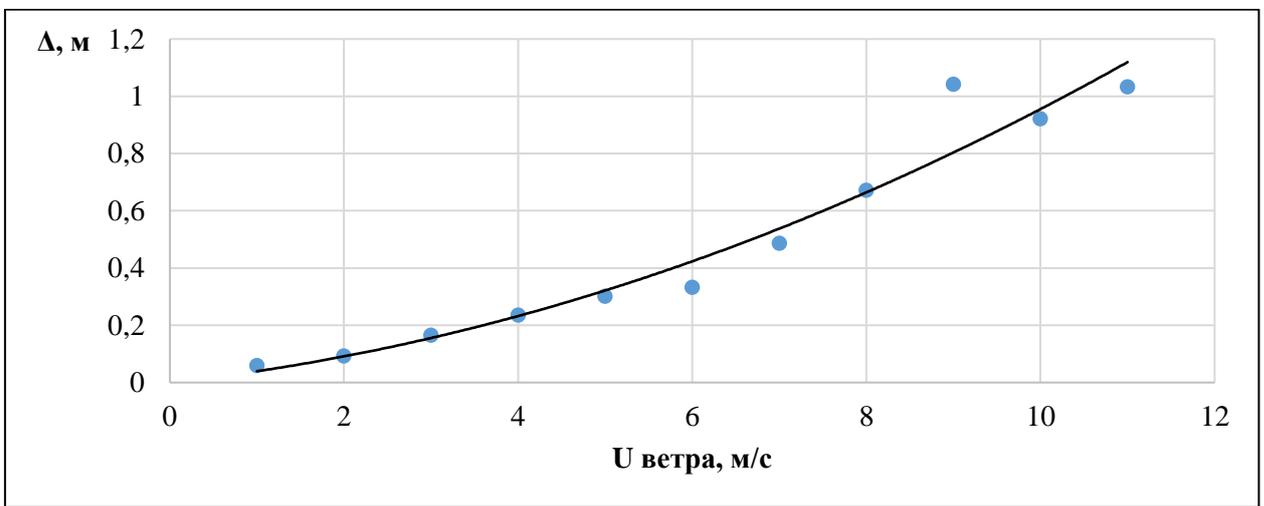


Рис. 2. Зависимость отклонения от курса от скорости судна при $\varphi = \pi/4$

По результатам второго эксперимента построены области управляемости судна при $\varphi = \pi/2$ для различной частоты вращения колес и при двух вариантах допустимого отклонения (Рис. 3.) Аналогично первому моделированию, представленному на рис. 1: кривая 1 – показывает предельные параметры скорости ветра, при которых управление будет осуществляться с отклонением менее 1 м; кривая 2 – показывает предельные параметры скорости ветра, при которых возможно управление судном, не зависимо от величины отклонения от курса.

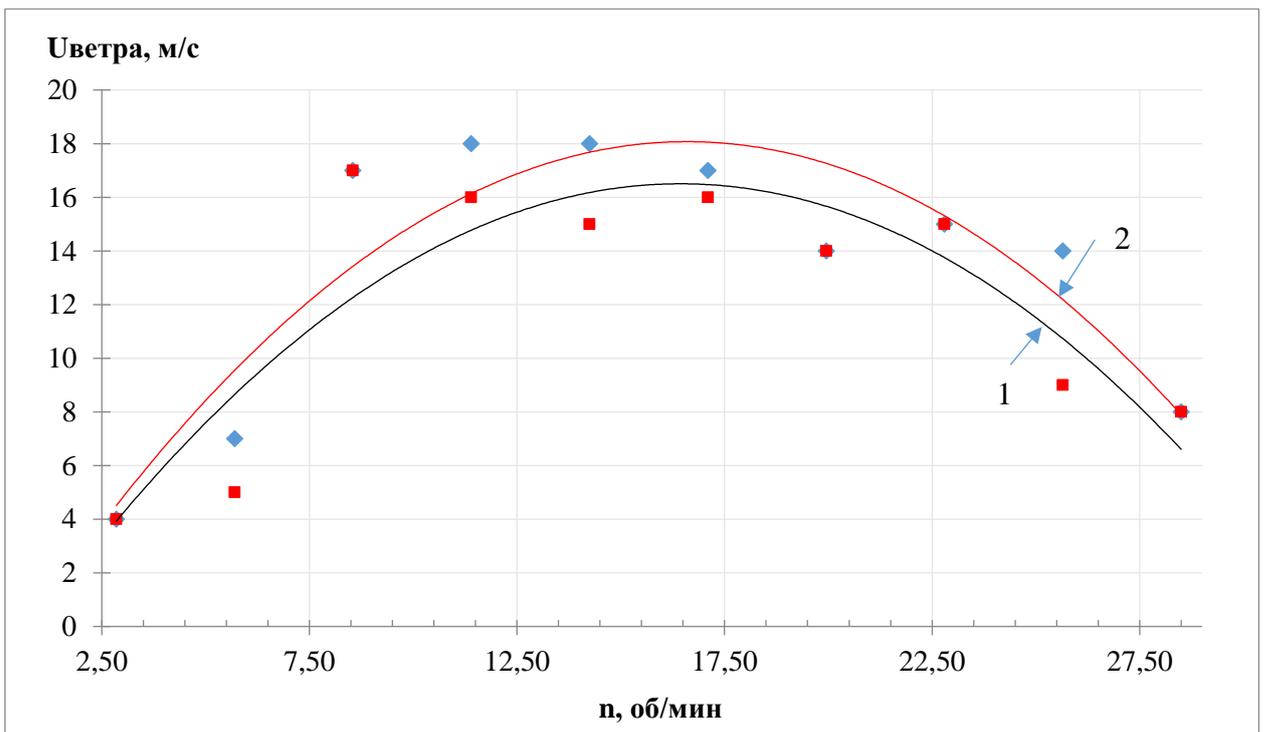


Рис. 3. Область управляемости при $\varphi = \pi/2$
(1 - при максимальном отклонении $< 1\text{м}$; 2 - предельная область управляемости)

Как и при моделировании для направления ветра $\pi/4$ также определялось отклонение от курса при различной скорости ветра и скорости хода (усредненное значение представлено на рис. 4).

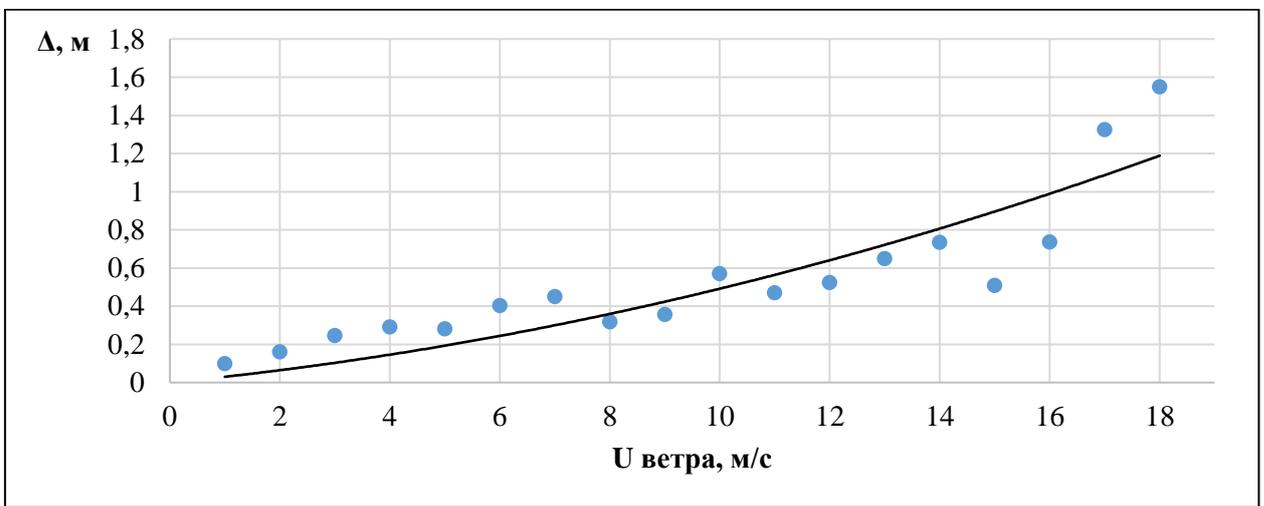


Рис. 4. Зависимость отклонения от курса от скорости судна при $\varphi = \pi/2$

По результатам третьего эксперимента, аналогично первым двум случаям, построены области управляемости для направления ветра $\varphi = 3 * \pi/4$ (Рис. 5) и отклонение от курса при различной скорости ветра и скорости хода (усредненное значение представлено на рис. 6).

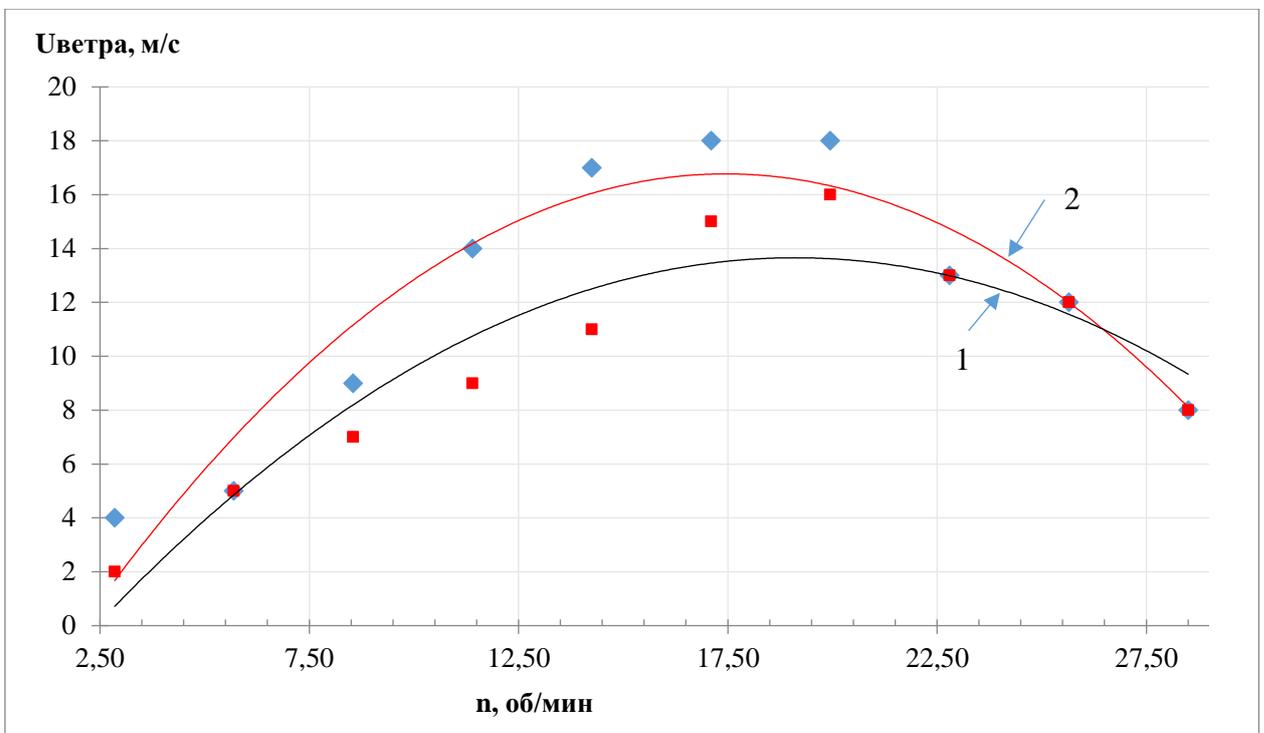


Рис. 5. Область управляемости при $\varphi = 3 * \pi/4$
(1 - при максимальном отклонении $< 1\text{м}$; 2 - предельная область управляемости)

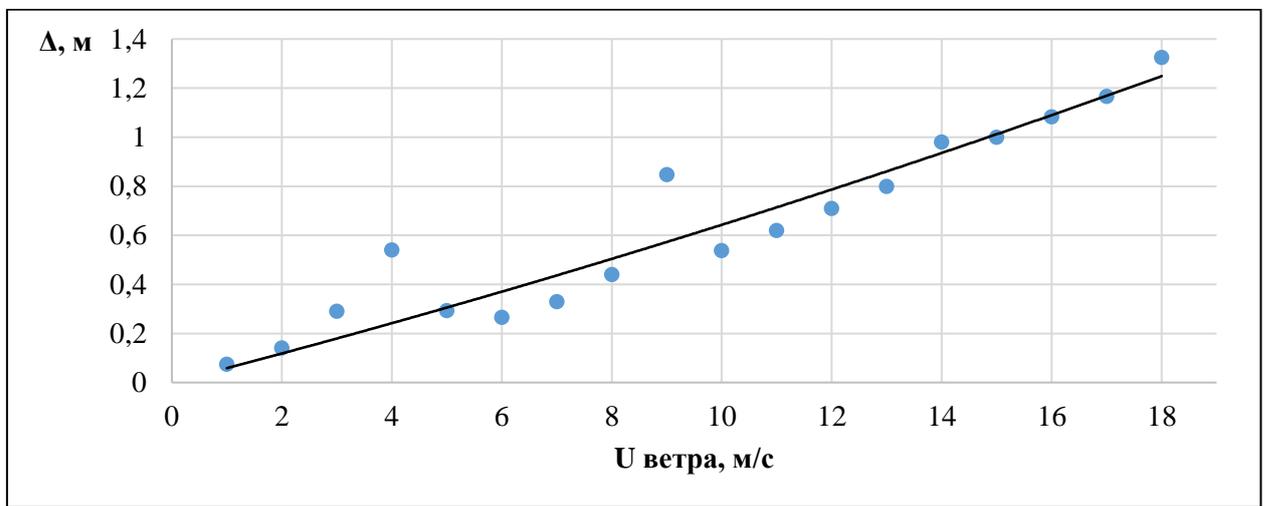


Рис. 6. Зависимость отклонения от курса от скорости судна при $\varphi = 3 * \pi/4$

На основе полученных данных можно, также, сделать вывод: наилучшая управляемость судном обеспечивается на скорости судна от $(0,3 - 0,8) * U_{max}$. На малом и полном ходу управляемость значительно хуже и предельная скорость ветра, при которой возможно управление, довольно низкая. Однако при скорости ветра меньше 8 м/с отклонение от курса очень незначительно и такой ветер не будет сказываться на управляемости судна.

Данные исследования помогут в дальнейшей разработке алгоритма.

Эффективность и качество управления судном при помощи алгоритма напрямую зависит от выбранных коэффициентов. Знание области управляемости позволит правильно выбрать коэффициенты алгоритма для разных условий эксплуатации. Это позволит использовать алгоритм при любых скоростях ветра и судна с максимальной эффективностью.

Список литературы:

- [1] Российский патент № 2225327 от 30.11.2001 г.
- [2] Грошева Л.С., Мерзляков В.И., Плющев В.И. Синтез алгоритма управления движением судна с колесным движительно-рулевым комплексом // Вестник Астраханского государственного технического университет. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. - №2. – С. 34-39.
- [3] Грошева Л.С., Мерзляков В.И., Сидоров А.С. Разработка структуры системы управления движением судна с КДРК по курсу// Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2011. – № 3. – С. 10–15
- [4] Мерзляков В.И. Моделирование динамики и разработка систем управления судов с колесным движительно-рулевым комплексом. // ФБОУ ВПО «ВГАВТ», Диссертация.
- [5] Грошева Л.С., Мерзляков В.И., Плющев В.И. Синтез алгоритма управления движением судна с колесным движительно-рулевым комплексом // Вестник Астраханского государственного технического университет. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. - №2. – С. 34-39.
- [6] Грошева Л.С., Плющев 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 DEFINITION OF THE AREA OF HANDLING OF THE VESSEL UNDER WIND IMPACT

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

Key words: ship, wheel-propulsion steering complex, wind effect, computer simulation, the algorithm of keeping the ship on the course, the area of controllability, the selection of coefficients.

Determination of the control area of a vessel with a wheeled propulsion and steering complex and large dimensions using the algorithm of holding on the course and different wind directions. Study of the dependence of the deviation from the wind speed.