

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-989-995

STUDYING THE WIND AND WAVE EFFECTS INFLUENCE ON THE SHIP DURING THE TRANSITION TO DRIFT

A. A. Zhelezniak

Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russian Federation

Most of the calculations that have to be performed when solving navigational tasks are approximate, because of the assumptions that are made in this case, as well as approximate values of the quantities that are used in the calculations. Algorithms for practical calculations to take into account the disturbances influence on the maneuvering process are not available for all types of disturbances. The result of the wind action on the ship is difficult to determine exactly. With a weak headwind, the ship loses little speed, and slightly increases it when such a wind is from the stern. With a strong wind, the ship's course decreases both with a headwind and with a tailwind. The reason for this is the wave action, which develops with the wind and increases the resistance to the ship movement. The issue of studying the wind influence on the ship seaworthiness is considered and the task of creating a model for taking into account the ship behavior when observing its drift without running is set in the paper. At solving this problem, the methods of ship theory (for analyzing the dynamics and kinematics of the ship), mathematical modeling, the theory of static analysis and full-scale experiment are used. During the full-scale experiment, the vessel behavior when mooring to it during catching process from a purse seine is considered, and observations of drift without running on a medium fishing freezer trawler during fishing with the purse seine in the Black Sea are also made. The performed studies allow us to obtain data for determining the speed and angle of drift when planning a mooring for receiving a catch in the case of steady drift. This allows us to determine the value of the ratio of dimensionless coefficients of transverse aero and hydrodynamic forces for the case of steady drift.

Keywords: model, draft, ship, drift, pitching theory.

For citation:

Zhelezniak, Aleksandr A. "Studying the wind and wave effects influence on the ship during the transition to drift." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.6 (2020): 989–995. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-989-995.

УДК 656.61

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕТРОВЫХ И ВОЛНОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СУДНО ПРИ ПЕРЕХОДЕ В ДРЕЙФ

А. А. Железняк

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»,
г. Керчь, Российская Федерация

Отмечается, что большинство вычислений, которые приходится выполнять при решении судоводительских задач, являются приближенными, из-за допущений, которые при этом принимаются, а также значений величин, используемых в расчетах. Подчеркивается, что алгоритмы практических расчетов для учета влияния возмущений на процесс маневрирования имеются далеко не для всех видов возмущений. Результат действия ветра на судно определить точно затруднительно. При слабом встречном ветре судно мало теряет скорость и слегка увеличивает ее при таком ветре с кормы. При сильном ветре ход судна уменьшается как при встречном, так и при попутном ветре. Причиной этого является действие волнения, которое развивается при ветре, увеличивая сопротивление движению судна. В работе рассматривается вопрос изучения влияния ветра на мореходные качества судна и предложено решение задачи создания модели учета поведения судна при наблюдении его дрейфа без хода. При решении данной задачи использованы методы теории корабля (для анализа динамики и кинематики судна), математического моделирования, теории статического анализа и натурный эксперимент. В ходе натурного эксперимента было рассмотрено поведение судна при выполнении швартовки к нему в процессе улова из кошелькового невода, а также проведены наблюдения дрейфа без хода на среднем рыболовном морозильном траулере в период промысла кошельковым неводом в акватории Черного моря. Выполненные исследования позволили получить данные

для определения скорости и угла дрейфа при планировании швартовки для приема улова в случае установившегося дрейфа и определить величину отношения безразмерных коэффициентов поперечной аэро- и гидродинамической сил при установившемся дрейфе.

Ключевые слова: модель, осадка, судно, дрейф, теория качки.

Для цитирования:

Железняк А. А. Исследование влияния ветровых и волновых воздействий на судно при переходе в дрейф / А. А. Железняк // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 6. — С. 989–995. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-989-995.

Введение (Introduction)

Способность судна перемещаться в условиях ветра, волнения, течения и воздействия мелководья определяется его мореходными качествами, которые устанавливаются при проектировании и постройке судна. Расчеты, связанные с проектированием судов, являются сложными и выполняются специалистами кораблестроителями. Способы расчета и контроля остойчивости и прочности применяются в период погрузки-выгрузки судна и в течение рейса в море. Мореходные качества судна, которые изменяются в процессе эксплуатации, в значительной степени зависят от загрузки судна. Так, с помощью изменения распределения на судне грузов можно изменять его мореходные качества. Для этого оператор должен уметь выполнять необходимые расчеты. Для уточнения моделей учета влияния ветра на движение судна были выполнены наблюдения в натурных условиях дрейфа судна без хода и предложена модель учета этого влияния на процесс торможения. В ходе проведения эксперимента было выявлено, что при появлении внешних возмущений происходит увеличение сопротивления движению, падает скорость хода, изменяется осадка и существенно изменяются маневренные свойства судна, причем величину этих изменений судоводитель не всегда может вычислить. Поэтому значительный интерес представляет оценка влияния ветра, сопутствующего ему волнения, а также мелководья на поведение судна.

Под действием ветра происходит боковое перемещение со скоростью V_α за счет аэродинамической силы R_{ay} с плечом l_a . При этом возникает угол ветрового дрейфа α и судно перемещается со скоростью $\vec{V} = \vec{V}_л + \vec{V}_\alpha$.

При движении с углом дрейфа на корпусе возникает гидродинамическая сила $R_{гy}$ с плечом l_r . Плечо аэродинамической силы в длинах корпуса определяют по приближенной формуле К. К. Федяевского:

$$\bar{L}_a = 0,5 + \frac{l_{цп}}{L} - \frac{q_w^\circ}{360^\circ}, \quad (1)$$

где L — длина судна между перпендикулярами, м; $l_{цп}$ — расстояние центра парусности (ЦП) от мидель-шпангоута, м; q_w° — курсовой угол кажущегося ветра.

В формуле (1) плечо аэродинамической силы имеет знак «+», если ЦП смещен в нос от миделя и знак «–» при его смещении в корму. Следует отметить, что расположение ЦП по длине судна зависит от размеров и расположения надстроек, дифферента судна и его осадки [1]. Эти данные, которые обычно рассчитывают при постройке судна, имеются в судовых документах. Таким образом, на судно действует аэродинамическая сила, момент которой $M_a = R_{ay} l_a$ стремится развернуть судно относительно вертикальной оси лагом к ветру.

Поперечная составляющая $R_{гy}$ силы сопротивления воды движению создает момент M_r , который направлен в сторону, противоположную моменту аэродинамической силы. По этой причине для удержания судна на курсе необходимо переложить руль, чтобы момент на нем компенсировал разность моментов аэро- и гидродинамических сил, т. е. $M_p \geq M_a + M_r$. Когда это условие не выполняется, наступает потеря управляемости. Плечо гидродинамической силы l_r в безразмерном виде определяется следующим образом:

$$\bar{l}_r = 0,5 + \frac{l_{\text{БС}}}{L} - \frac{\alpha^\circ}{180^\circ}, \quad (2)$$

где $l_{\text{БС}}$ — расстояние от центра бокового сопротивления до миделя; α° — угол дрейфа.

Для изучения влияния ветра и получения модели учета поведения судна были проведены натурные наблюдения дрейфа судна без хода.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Теоретическое исследование вопросов выбора оптимальной формы корпуса для обеспечения необходимой мореходности выполнено в работах В. Г. Сизова, а влияние мелководья на процесс движения рассмотрено в работах Ю. Л. Воробьева. Исходя из анализа этих работ, характеристика влияния ветра на корпус судна определяется величинами скорости кажущегося ветра W и курсового угла q_w (рис. 1).

При остановке главного двигателя время перехода судна в состояние дрейфа без хода зависит от скорости и курса, которым оно следовало до этого. Для сокращения времени перехода к дрейфу рекомендуется использовать активное торможение [2]. После остановки главного двигателя судно под действием аэродинамических сил и силы от воздействия волн начинает перемещаться с определенной скоростью относительно воды (рис. 2).

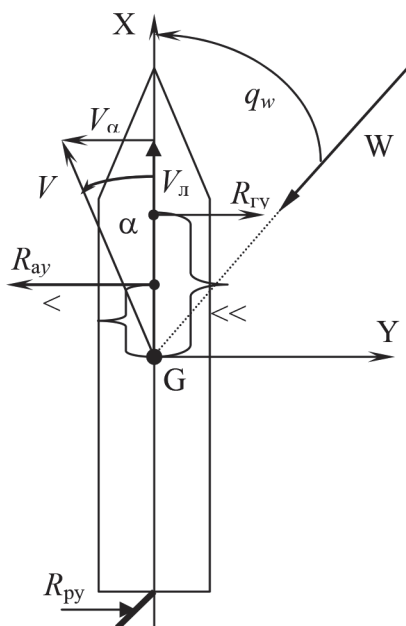


Рис. 1. Действие кажущегося ветра на судно

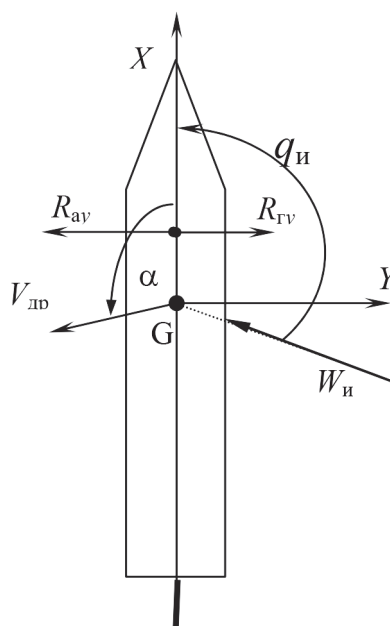


Рис. 2. Расположение сил при дрейфе без хода

Для расчета разгона при дрейфе без хода, т. е. определения времени достижения установившейся скорости $V_{\text{др}}$ и пути, используем дифференциальное уравнение движения, исходя из предположения, что моменты сил, действующих на судно уравновешены:

$$-m_y \frac{dV_y}{dt} - R_{\text{ГВ}} + R_{\text{ав}} + R_{\text{вв}} = 0, \quad (3)$$

где $R_{\text{ГВ}}$, $R_{\text{ав}}$, $R_{\text{вв}}$ — поперечная составляющая возмущающих сил.

Результаты (Results)

Для изучения поведения судна при выполнении швартовки к нему при приеме улова из кошелькового невода были проведены промышленные наблюдения дрейфа без хода на среднем рыболовном морозильном траулере проекта 502 (СРТМ 502) в период промысла в акватории

Черного моря. Средняя осадка при натурных наблюдениях была равна 3,8–3,9 м при дифференте на корму около 1 м и водоизмещении 1150 т. Траекторные измерения проводились по свободно плавающему ориентиру — бую: пеленг определялся оптическим пеленгатором, расстояние — секстаном по углу снижения. СКП измерения пеленга составляет 0,3–0,4°, расстояния — 4–6 м.

Выполненные исследования позволили получить данные для определения скорости и угла дрейфа при планировании швартовки для приема улова. Они подтвердили линейную зависимость $V_{др}$ от $W_{и}$ при скорости ветра до 15 м/с. При дальнейшем усилении ветра бортовая, килевая качки и рыскание значительно снижают точность траекторных измерений. Использование метода наименьших квадратов позволило получить эмпирическую формулу для определения скорости свободного дрейфа:

$$V_{гдр} = -0,014 + 0,049W_{и}. \quad (4)$$

Приведенные значения коэффициентов в формуле (4) справедливы только для данного типа судна [3], [4], однако методика определения значения аэродинамического коэффициента, на основе наблюдения дрейфа без хода, может быть использована на любом судне.

Обсуждение (Discussion)

Рассмотрим характер сил, входящих в уравнение (3). Взаимодействие корпуса судна с волной представляет собой весьма сложный физический процесс. На основе на линейной теории качки Я. И. Войткунского было предложено оценивать проекции указанной силы на оси, связанные с судном, следующей зависимостью:

$$R_{vy} = 0,5\gamma L h_{3\%} K_{vy}, \quad (5)$$

где K_{vy} , m_{vy} — безразмерные волновые коэффициенты, которые зависят от размеров судна, $h_{3\%}$ — высота волны 3 %-й обеспеченности [5], [6].

Зависимость между высотой развитого волнения и скоростью истинного ветра можно определить из известных соотношений:

$$\tau = 0,65 K_E W_{и}, \quad \lambda = 1,55 \tau^2 = 0,655 K_E^2 W_{и}^2, \quad (6)$$

где τ — период бега волн; λ — длина волны; $W_{и}$ — скорость истинного ветра; K_E — коэффициент роста (для развитого волнения его принимают равным 0,8).

Используя соотношения между $h_{3\%}$ и длиной волны развитого волнения $\lambda = (11...16)h_{3\%}$, получим

$$h_{3\%} = 0,03 W_{и}^2. \quad (7)$$

С учетом приведенных зависимостей формулу можно записать:

$$R_{vy} = 4 \cdot 10^{-4} \rho g L K_{vy} W_{и}^2 = C_v W_{и}^2, \quad (8)$$

где C_v — коэффициент возмущающей силы.

Силу гидродинамического сопротивления определяют с учетом того, что $V_y \approx V_{др}$ при установившемся дрейфе:

$$R_{гy} = 0,5 C_y \rho S_{п} V_{др}^2, \quad (9)$$

где C_y — безразмерный коэффициент поперечной гидродинамической силы;

$S_{п}$ — площадь проекции подводной части корпуса судна на ДП.

Значение C_y можно определить по формуле, предлагаемой Н. И. Анисимовой, которая в случае свободного дрейфа (при $\alpha \approx 90^\circ$) примет вид $C_y \approx C_2$ [5]. С учетом этого формулу (9) можно записать в виде

$$R_{гy} = 0,5 C_2 \rho S_{п} V_{др}^2 = K V_{др}^2. \quad (10)$$

Аэродинамическую силу R_{ay} обычно определяют по формуле

$$R_{ay} = 0,5 C_{ay\ 90^\circ} \rho_b S_n W_n^2 = K_n W_n^2. \quad (11)$$

С учетом приведенных зависимостей уравнение (3) можно записать в виде

$$m \frac{dV}{dt} - KV^2 + (K_n + C_b) W_n^2 = 0. \quad (12)$$

После разделения переменных и интегрирования в пределах от $V = 0$ до $V = V_{др}$ получим выражения для определения времени и пути разгона при дрейфе из неподвижного состояния:

$$t = \frac{m}{2K} \ln \frac{\sqrt{\left(\frac{K_n}{K} + \frac{C_b}{K}\right) W_n^2 - V_{др}^2}}{\sqrt{\left(\frac{K_n}{K} + \frac{C_b}{K}\right) W_n^2 + V_{др}^2}}; \quad (13)$$

$$S = \frac{1}{2} \ln \frac{\left(\frac{K_n}{K} + \frac{C_b}{K}\right) W_n^2}{\left(\frac{K_n}{K} + \frac{C_b}{K}\right) W_n^2 - V_{др}^2}. \quad (14)$$

Для установившегося дрейфа, когда $R_{ay} \approx R_{гв}$, и известных значений $V_{др}$, α , W_n и q_n полученных из натурных наблюдений, можно определить величину отношения безразмерных коэффициентов поперечной аэро- и гидродинамической сил $C_{ay\ 90^\circ} / C_2$ [7], [8]. С учетом того, что подводная часть судна хорошо моделируется, достаточно подробно исследованы и имеются корректные аналитические зависимости для расчета значения коэффициентов поперечной гидродинамической силы из зависимости

$$\frac{C_{ay\ 90^\circ}}{C_2} = \frac{\rho S_n V_{др}^2 \sin^2 \alpha}{\rho_b S_n W_n^2 \sin q_n}, \quad (15)$$

можно получить значение коэффициента поперечной аэродинамической силы.

Указанное обстоятельство имеет большое значение, поскольку способы получения коэффициента поперечной аэродинамической силы, кроме определения из модельного эксперимента и сугубо приближенных расчетов, в специальной литературе не описаны. На это указывают исследователи в своих работах [9], [10]. По этой причине способ определения аэродинамического коэффициента по результатам промышленного эксперимента является, пожалуй, единственно возможным средством проверки правильности формул для его количественного определения.

Скорость установившегося дрейфа можно определить из формулы (15):

$$V_{др} = \frac{W_n}{\sin \alpha} \sqrt{\frac{C_{ay\ 90^\circ}}{C_2} \frac{\rho_b}{\rho} \frac{S_n}{S_n} \sin q_n} \approx K_{др} W_n, \quad (16)$$

где $K_{др}$ — коэффициент дрейфа, определяемый из натурных наблюдений для состояния конкретного судна в грузу или в балласте.

Угол дрейфа (см. рис. 2) по наблюдаемому курсовому углу ветра можно определить по формуле

$$\alpha = \arcsin \frac{W_n}{V_{др}} \sqrt{\frac{C_{ay\ 90^\circ}}{C_2} \frac{\rho_b}{\rho} \frac{S_n}{S_n} \sin q_n}. \quad (17)$$

Выводы (Conclusions)

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Внутренние возмущения возникают непосредственно на объекте управления и приводят к неустойчивости учитываемых параметров и маневренных свойств.

2. Источниками внутренних возмущений являются:

- несоблюдение скорости перекладки руля, требуемой нормативами;
- колебания в скорости вращения гребного винта;
- нестабильная работа гребного винта из-за качки;
- задержки при выполнении команд по управлению движением судна;
- погрешности в согласовании датчиков органов управления и контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жиленков А. А. Моделирование процесса повышения надежности автоматических систем управления в автономных системах объектов морского транспорта / А. А. Жиленков, И. Л. Титов, С. Г. Черный // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 4 (32). — С. 198–207.

2. Печенюк А. В. Численное моделирование работы гребного винта в составе судовой винторулевой колонки / А. В. Печенюк // Инженерные системы-2017: Труды Международного форума. — М.: Инжиниринговая компания «ТЕСИС», 2017. — С. 99–109.

3. Таранов А. Е. Численное моделирование динамики судна в задачах управляемости и качки / А. Е. Таранов, А. Э. Блищик // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2018. — № 2(384). — С. 29–38. DOI: 10.24937/2542-2324-2018-2-384-29-38.

4. Токарев П. Н. Метод определения гидродинамических усилий на корпусе судна при произвольном плоском движении судна / П. Н. Токарев // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2017. — № 52. — С. 191–205.

5. Борисов Р. В. Качка корабля: учеб. пособие / Р. В. Борисов, В. Ю. Семенова. — СПб.: СПбГМТУ, 2009. — 76 с.

6. Molland A. F. Ship resistance and propulsion: practical estimation of ship propulsive power / A. F. Molland, S. R. Turnock, D. A. Hudson. — Cambridge, GB: Cambridge University Press, 2011. — 544 p.

7. Paik K. J. Numerical study on the hydrodynamic characteristics of a propeller operating beneath a free surface / K. J. Paik // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. — 2017. — Vol. 9. — Is. 6. — Pp. 655–667. DOI: 10.1016/j.ijnaoe.2017.02.006.

8. Kinnas S. A. Numerical modeling of a marine propeller undergoing surge and heave motion / S. A. Kinnas, Y. Tian, A. Sharma // International Journal of Rotating Machinery. — 2012. — Vol. 2012. DOI: 10.1155/2012/257461.

9. Zhilenkov A. Investigation performance of marine equipment with specialized information technology / A. Zhilenkov, S. Chernyi // Procedia Engineering. — 2015. — Vol. 100. — Pp. 1247–1252. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.01.490.

10. Yabuki H. On the Development of an Anchor Watch Supporting System for Small Merchant Ships / H. Yabuki, T. Takemoto, K. Yamashita, S. Saitoh // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. — 2012. — Vol. 6. — No. 3. — Pp. 331–335.

REFERENCES

1. Zhilenkov, A. A., I. L. Titov, and S. G. Cherny. “Modeling of increasing the reliability automatic control systems in autonomous systems for maritime transport objects.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 4(32) (2015): 198–207.

2. Pechenyuk, A. V. “Chislennoe modelirovanie raboty grebnogo vinta v sostave sudovoi vintorulevoi kolonki.” *Inzhenernye sistemy-2017: Trudy Mezhdunarodnogo foruma*. M.: Inzhiniringovaya kompaniya «TESIS», 2017. 99–109.

3. Taranov, Andrey Ye., and Artem E. Blishchik. “Numerical simulation of ship dynamics in terms of maneuverability and motions.” *Transactions of the Krylov State Research Centre* 2(384) (2018): 29–38. DOI: 10.24937/2542-2324-2018-2-384-29-38.

4. Tokarev, P.N. “Method of determination hydrodynamic efforts on the ships hull with indirect flat traffic.” *Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta* 52 (2017): 191–205.

5. Borisov, R. V., and V. Yu. Semenova. *Kachka korablya: uchebnoe posobie*. SPb.: SPbGMTU, 2009.

6. Molland, A. F., S. R. Turnock, and D. A. Hudson. *Ship resistance and propulsion: practical estimation of ship propulsive power*. Cambridge, GB: Cambridge University Press, 2011.

7. Paik, Kwang-Jun. "Numerical study on the hydrodynamic characteristics of a propeller operating beneath a free surface." *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 9.6 (2017): 655–667. DOI: 10.1016/j.ijnaoe.2017.02.006.

8. Kinnas, Spyros A., Ye Tian, and Abhinav Sharma. "Numerical modeling of a marine propeller undergoing surge and heave motion." *International Journal of Rotating Machinery* 2012 (2012). DOI: 10.1155/2012/257461.

9. Zhilenkov, Anton, and Sergei Chernyi. "Investigation performance of marine equipment with specialized information technology." *Procedia Engineering* 100 (2015): 1247–1252. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.01.490.

10. Yabuki, H., T. Takemoto, K. Yamashita, and S. Saitoh. "On the Development of an Anchor Watch Supporting System for Small Merchant Ships." *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 6.3 (2012): 331–335.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Железняк Александр Александрович —
кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «Керченский государственный
морской технологический университет»
298309, Российская Федерация, Керчь,
ул. Орджоникидзе, 82
e-mail: zheleznyak13@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Zhelezniak, Aleksandr A. —
PhD
Kerch State Maritime Technological
University
82 Ordzhonikidze Str., Kerch, 298309,
Russian Federation
e-mail: zheleznyak13@mail.ru

Статья поступила в редакцию 7 ноября 2020 г.

Received: November 7, 2020.