

6. Tchistov, V. B., A. B. Krasnyuk, and M. G. Pelikova. "Analysis of errors impact on the strength characteristics of the ship's hull plates and decks in determination of residual thickness." *Journal of University of Water Communications* 2 (2013): 58–66.
7. Krasnyuk, A. B., and V. B. Tchistov. "Methodological outlines of the defect detection of the vessels steel hulls." *Journal of University of Water Communications* 3(19) (2013): 87–93.
8. Krasnyuk, A. B. "Influence of errors in the determination of the residual thickness of elements of hull structures on the total strength of the ship's hull." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 2 (21) (2013): 70–77.
9. The calculation of the strength and determination of the permissible residual thickness of the hull structures for the icebreaker «Captain Krutov» (class «XM-SP 3.5 (ice-breaker) A»). №1105 / СК / 11-01. St. Petersburg: SPGUVK, 2011. (research report).
10. The calculation of the strength of the icebreaker «Captain Krutov» (class «XM-SP 3.5 (ice-breaker) A»). №1105 / СК / 11-09-02. St. Petersburg: SPGUVK, 2011. (research report).
11. Repair and calculation of elements of the ice belt for the icebreaker «Captain Krutov» at its operation in the class «XM-SP 3.5 (ice-breaker) A». №1105 / СК / 11-02. St. Petersburg: SPGUVK, 2011. (research report).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Красюк Алла Борисовна —
кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
krasyuk_a_b@mail.ru
Чистов Валентин Борисович —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
ChistovVBgumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Krasyuk Alla Borisovna —
Candidate of Engineering,
associate professor.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
krasyuk_a_b@mail.ru
Tchistov Valentin Borisovitch —
Doctor of Engineering, professor.
ChistovVBgumrf.ru

УДК 629.12

**М. П. Лебедева,
А. Б. Васильева,
Т. Н. Инютина**

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОРПУСА СУДНА С ПЛОСКОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТЕНКОЙ

В работе приводятся результаты анализа экспериментального исследования сил и моментов взаимодействия модели голого корпуса судна и плоской вертикальной стенки. Эти данные необходимы для решения задач управления судном в процессе швартовки и при движении в узкости.

Экспериментальное исследование гидродинамических характеристик было выполнено в начале 1990-х гг. в циркуляционном бассейне ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. Тогда работа была приостановлена за неимением технических средств. Как показал обзор литературы, несмотря на то, что с момента выполнения исследований прошло более 20 лет, новой информации по вопросу о взаимодействии корпуса судна со стенкой не появилось. Ввиду того, что задача о динамике движения судна в узкости по-прежнему остается актуальной и по-прежнему ее корректное решение невозможно из-за отсутствия данных о гидродинамических характеристиках, приостановленная работа была продолжена. Обработанные данные и результаты их анализа, дающие возможность оценить количественно силы и моменты на голом корпусе судна, обусловленные влиянием плоской вертикальной стенки, приведены в статье.

Ключевые слова: гидродинамическое взаимодействие, эксперимент, модель судна, плоская стенка, угол разворота.

ВВЕДЕНИЕ

Эффект «присасывания» пришвартованного судна или при прохождении около стенки известен. Возникновение этой силы из-за отсутствия времени и возможности ее парирования может привести к катастрофическим последствиям. Для прогнозирования поведения судна в экстремальных условиях необходимо знать силы и моменты взаимодействия (гидродинамические характеристики взаимодействия).

Экспериментальные исследования гидродинамических характеристик взаимодействия начались во второй половине XX в. Выяснилось, что указанная сила определяется большим количеством параметров, к числу которых относятся наклон стенки, расстояние от стенки, глубина фарватера, направление движения судна. К числу первых работ можно отнести работы [1] – [4]. Во всех работах диаметральной плоскости остается параллельной стенке. Введение дополнительного параметра, определяющегося как угол разворота диаметральной плоскости относительно стенки, существенно увеличивает объем испытаний. Между тем, судно может оказаться развернутым на произвольный угол и при этом двигаться параллельно стенке. Например, в случае швартовки судна в условиях ветра или при проходе судна у стенки на малых скоростях.

В настоящее время, в связи с развитием вычислительных средств и появления судовых тренажеров, а также для прогнозирования параметров движения появилась необходимость в достоверном описании гидродинамических характеристик взаимодействия. Анализ результатов экспериментального исследования гидродинамических характеристик взаимодействия при произвольных углах разворота модели относительно стенки стал целью настоящей работы.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача об определении гидродинамических характеристик взаимодействия выполнялась в квазистатической постановке, что типично для задач о движении водоизмещающих судов. Силы и моменты взаимодействия определялись как разность полной силы и момента, измеряемых на корпусе модели вблизи стенки, и соответствующих им значений на изолированной модели. В условиях опытового бассейна стенку удобнее выполнять в виде плоской пластины и буксировать ее вместе с моделью судна. Результаты эксперимента будут соответствовать натурному судну при его маневрировании в условия течения. Распространить этот результат на случай маневрирования около неподвижной стенки можно при предположении о малой толщине пограничного слоя на стенке по сравнению с величиной зазора между судном и стенкой.

Другой особенностью рассматриваемой задачи является введение в качестве дополнительного параметра угла ϑ между диаметральной плоскостью модели и стенкой. Угол ϑ совпадает по величине с углом дрейфа модели, если вектор скорости перемещения центра тяжести судна параллелен стенке. Одновременная буксировка модели и стенки автоматически обеспечивает условие параллельности вектора скорости и стенки. Таким образом, результат определения гидродинамических характеристик применим для случая $V_y \ll V_x$.

При анализе результатов необходимо помнить, что диапазон возможных значений углов ϑ зависит от расстояния центра тяжести модели от стенки.

2. МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальное исследование гидродинамических характеристик было выполнено в начале 1990-х гг. в циркуляционном бассейне ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. Тогда работа была приостановлена за неимением технических средств. Довести работу до конца оказалось возможным только в настоящее время. Эксперимент выполнялся на комплексе, состоящем из модели судна и плоской пластины, имитирующей стенку. Моделью судна была схематизированная модель танкера. Моделью стенки была вертикальная пластина, жестко прикрепленная к кабине поворотно-буксировочного устройства (ПБУ). Модель устанавливалась на внешнем по отношению к центру ПБУ радиусе. Измерения выполнялись с помощью трехкомпонентного динамометра. Главные размеры модели:

Длина, м	$L = 1,98$
Ширина, м	$B = 0,397$
Осадка, м	$T = 0,117$
Коэффициент общей полноты	$C_b = 0,764$

Эскиз корпуса модели приведен на рис. 1.

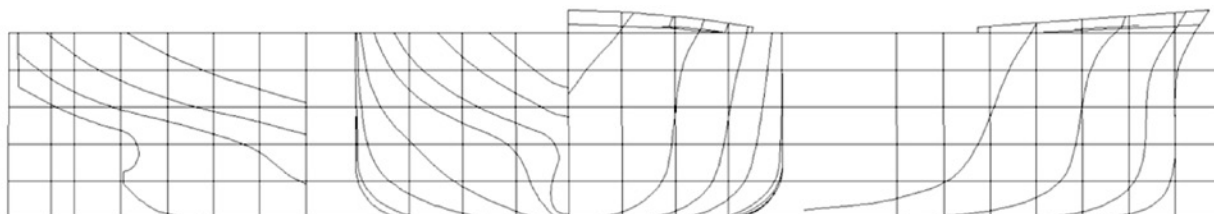


Рис. 1. Эскиз корпуса модели

Длина плоской пластины вдвое превышала длину модели. Заглубление пластины под свободную поверхность в четыре раза превышало осадку модели. Радиус буксировки составлял 30 м (14,5 длин корпуса модели), что позволяло считать параметры движения соответствующими прямому курсу. Несмотря на то, что траектория буксировки имела малую кривизну, при обработке результатов выполнялась их корректировка, позволяющая исключить влияние кривизны траектории полностью. По условиям прочности и с целью снижения волнообразования плоской пластины скорость буксировки модели была снижена до $V = 0,6$ м/с при углах разворота модели ($-45^\circ \leq \vartheta \leq +45^\circ$), что соответствовало числу Фруда $Fn = 0,14$ и до $V = 0,4$ м/с при углах разворота модели ($-50^\circ \leq \vartheta \leq +130^\circ$). Для парирования масштабного эффекта, обусловленного малыми значениями числа Рейнольдса, была искусственно увеличена шероховатость поверхности корпуса модели [5] — [7].

3. СИСТЕМА КООРДИНАТ

Измерения сил и моментов и их анализ выполнялись в поточной системе координат (рис. 2).

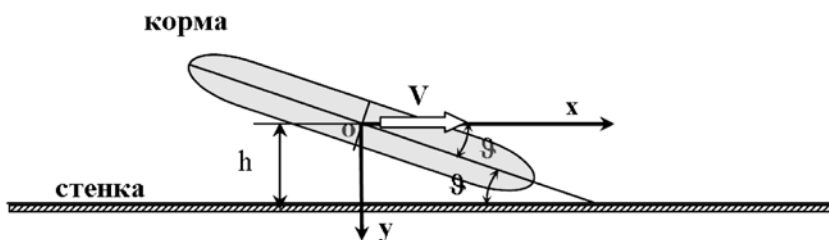


Рис. 2. Система координат

Положительными считались (см. рис. 2): ось X , направленная вдоль стенки в правую сторону, если смотреть на палубу модели сверху; ось Y , направленная в сторону стенки; момент, разворачивающий модель по часовой стрелке, если смотреть на палубу модели сверху. Силы на корпусе считались положительными, если они действовали в направлении координатных осей. Момент, действующий по часовой стрелке, считался положительным, если смотреть на палубу модели сверху. Угол ϑ между диаметральной плоскостью модели и стенкой, равный углу между осью X и диаметральной плоскостью, считался положительным при отсчете от оси X в сторону диаметральной плоскости. Поскольку комплекс модель-стенка был жестко связан с буксировочной тележкой, угол дрейфа модели и угол ее разворота относительно стенки совпадали.

Область определения гидродинамических характеристик была разделена на две подобласти: подобласть малых и подобласть больших углов дрейфа. К области малых углов дрейфа относи-

лись углы, при которых модель была развернута на угол, не превышающий $\pm 45^\circ$ от направления вектора скорости. Остальные положения модели относились к области больших углов дрейфа. Необходимость такого разделения была обусловлена различными требованиями к точности измерений. За поперечное расстояние модели h принималось расстояние между центром тяжести модели и стенкой. Относительное расстояние между центром тяжести модели и стенкой определялось как отношение $\bar{h} = h / B$. Величина h варьировалась от 2,5 до 0,5 ширины корпуса. Диапазоны значений изменяемых параметров изменялись в зависимости от расстояния до стенки (табл. 1).

Таблица 1

Диапазоны значений параметров буксировки

$\bar{h}$	Носом вперед	Носом к стенке	Кормой вперед	Кормой к стенке	Носом вперед
	диапазоны значений углов дрейфа				
2,5	$0^\circ \leq \vartheta \leq 45^\circ$	$50^\circ \leq \vartheta \leq 130^\circ$	$135^\circ \leq \vartheta \leq 225^\circ$	$230^\circ \leq \vartheta \leq 310^\circ$	$315^\circ \leq \vartheta \leq 360^\circ$
2,1	$0^\circ \leq \vartheta \leq 25^\circ$	—	$155^\circ \leq \vartheta \leq 205^\circ$	—	$335^\circ \leq \vartheta \leq 360^\circ$
1,6	$0^\circ \leq \vartheta \leq 15^\circ$	—	$165^\circ \leq \vartheta \leq 195^\circ$	—	$345^\circ \leq \vartheta \leq 360^\circ$
1,3	$0^\circ \leq \vartheta \leq 10^\circ$	—	$170^\circ \leq \vartheta \leq 190^\circ$	—	$350^\circ \leq \vartheta \leq 360^\circ$
0,93	$0^\circ \leq \vartheta \leq 5^\circ$	—	$175^\circ \leq \vartheta \leq 185^\circ$	—	$355^\circ \leq \vartheta \leq 360^\circ$
0,62	$\vartheta = 0^\circ$	—	$\vartheta = 180^\circ$	—	—

Как видно из таблицы, при значении $h_0 / B = 2,1$ и меньше диапазон возможных значений углов разворота модели уменьшается вследствие возникновения физического контакта между корпусом модели и стенкой.

4. СИЛЫ И МОМЕНТЫ НА ИЗОЛИРОВАННОМ КОРПУСЕ

Гидродинамические характеристики изолированной модели определялись в системе координат, связанной с моделью. Для определения сил и моментов при малых углах дрейфа использовались экспериментальные данные, полученные для той же модели танкера. Значения сил и моментов приводились к безразмерному виду по следующим формулам:

$$\sum C_x = \frac{X}{0,5\rho V^2 L T}; \quad (1)$$

$$\sum C_y = \frac{Y}{0,5\rho V^2 L T}; \quad (2)$$

$$\sum C_m = \frac{M}{0,5\rho V^2 L^2 T}; \quad (3)$$

где X , Y , M продольная и боковая составляющие сил, измеряемых во время эксперимента, V — скорость буксировки модели, ρ — плотность воды.

Значения безразмерных гидродинамических характеристик аппроксимировались полиномами вида (4) – (6) [8]:

– продольная составляющая силы

$$C_{xbh} = C_{xbh}^0 + C_{xbh}^{\bar{\omega}} \bar{\omega} + C_{xbh}^{\beta} \beta + C_{xbh}^{\bar{\omega}\bar{\omega}} \bar{\omega}^2 + C_{xbh}^{\beta\beta} \beta^2 + C_{xbh}^{\beta\bar{\omega}} \beta \bar{\omega} + C_{xbh}^{\beta\bar{\omega}^2} \beta \bar{\omega}^2 + C_{xbh}^{\bar{\omega}\bar{\omega}^2} \bar{\omega}^3 + C_{xbh}^{\beta\bar{\omega}\bar{\omega}^2} \beta \bar{\omega}^3; \quad (4)$$

– боковая составляющая силы

$$C_{ybh} = C_{ybh}^0 + C_{ybh}^{\bar{\omega}} \bar{\omega} + C_{ybh}^{\beta} \beta + C_{ybh}^{\bar{\omega}\bar{\omega}} \bar{\omega}^2 + C_{ybh}^{\beta\beta} \beta^2 + C_{ybh}^{\beta\bar{\omega}} \beta \bar{\omega} + C_{ybh}^{\beta\bar{\omega}^2} \beta \bar{\omega}^2 + C_{ybh}^{\bar{\omega}\bar{\omega}^2} \bar{\omega}^3 + C_{ybh}^{\beta\bar{\omega}\bar{\omega}^2} \beta \bar{\omega}^3; \quad (5)$$

– момент

$$C_{mbh} = C_{mbh}^0 + C_{mbh}^{\bar{\omega}} \bar{\omega} + C_{mbh}^{\beta} \beta + C_{mbh}^{\bar{\omega}\bar{\omega}} \bar{\omega}^2 + C_{mbh}^{\beta\beta} \beta^2 + C_{mbh}^{\beta\bar{\omega}} \beta \bar{\omega} + C_{mbh}^{\beta\bar{\omega}^2} \beta \bar{\omega}^2 + C_{mbh}^{\bar{\omega}\bar{\omega}^2} \bar{\omega}^3 + C_{mbh}^{\beta\bar{\omega}\bar{\omega}^2} \beta \bar{\omega}^3, \quad (6)$$

где $C^{\bar{\omega}}$, ..., $C^{\beta\bar{\omega}\bar{\omega}}$ — коэффициенты полиномов, рассчитанные по результатам аппроксимации экспериментальных данных; β — угол дрейфа модели; $\bar{\omega}$ — относительная кривизна траектории. Значения коэффициентов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов для танкера

Коэффициенты полиномов	C_x	C_y	C_m
C^0	-0,0006	0	0
$C^{\bar{\omega}}$	-0,004	0,004	-0,042
C^{β}	-0,000175	0,00445	0,00275
$C^{\bar{\omega}\bar{\omega}}$	0,016	0,032	-0,032
$C^{\beta\beta}$	0,000001	0,0000484	0,000005
$C^{\beta\bar{\omega}}$	-0,00016	-0,0003	-0,00102
$C^{\beta\beta\bar{\omega}}$	0	0,00003	-0,00014
$C^{\beta\bar{\omega}\bar{\omega}}$	0	0,0044	-0,0014
$C^{\beta\beta\bar{\omega}\bar{\omega}}$	0	-0,00012	0,000192

Расчет гидродинамических характеристик при малых углах дрейфа выполнялся для постоянного значения относительной кривизны траектории буксировки модели $\bar{\omega} = 0,07$. Для определения гидродинамических характеристик изолированной модели при больших углах дрейфа использовалась методика Р. Я. Першица, изложенная в справочнике по теории корабля [1]. Соответствующие составляющие для гидродинамических сил на изолированном корпусе пересчитывались в поточную систему координат. Формулы для расчета имели вид

$$C_{Xbh} = C_{Xbh} \cdot \cos\theta + C_{Ybh} \cdot \sin\theta; \quad (7)$$

$$C_{Ybh} = C_{Xbh} \cdot \sin\theta - C_{Ybh} \cdot \cos\theta. \quad (8)$$

Расчет по методике [1] влияние кривизны не учитывал. Значения сил и моментов, определенные в поточной системе координат, показаны на рис. 3 – 5. Красными точками показаны значения для малых углов дрейфа, Синими точками показаны значения гидродинамических характеристик для больших углов дрейфа. Приведенные значения сил и моментов на корпусе изолированной модели использовались при определении силы и момента взаимодействия со стенкой.

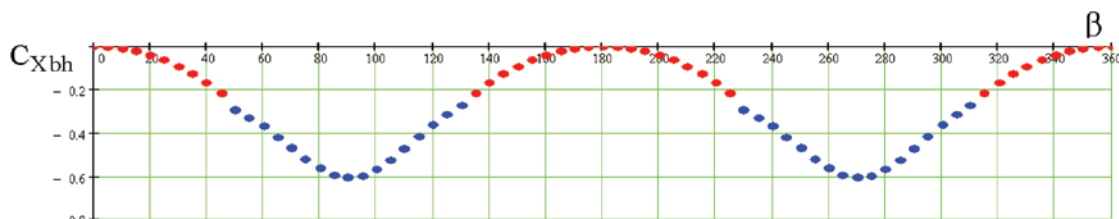


Рис. 3. Продольная составляющая силы на голем корпусе. Изолированная модель

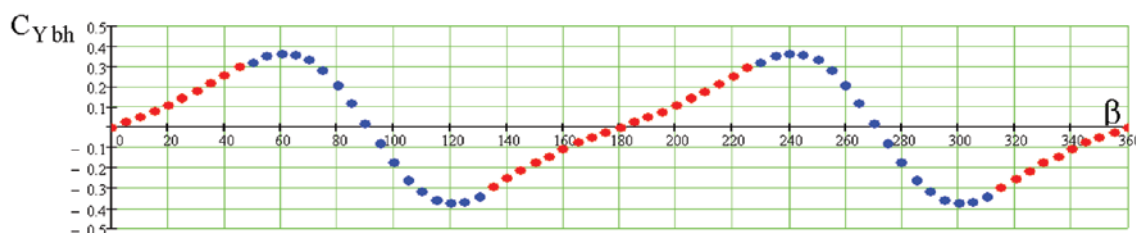


Рис. 4. Поперечная составляющая силы на голем корпусе. Изолированная модель

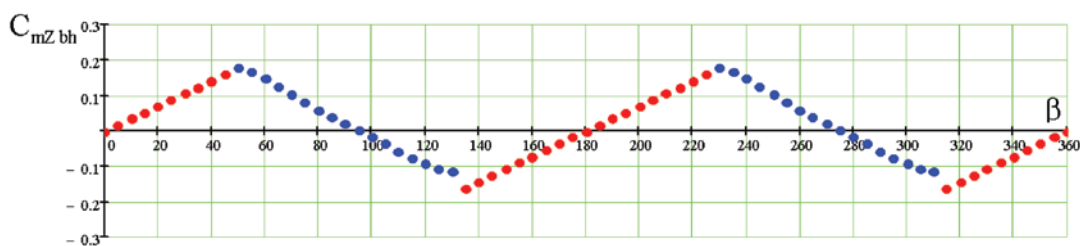


Рис. 5. Гидродинамический момент на голом корпусе. Изолированная модель

5. СИЛЫ И МОМЕНТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

5.1. Влияние угла дрейфа на величину гидродинамических характеристик взаимодействия

Гидродинамические характеристики взаимодействия определялись формулами (9) – (11) как разность соответствующих компонентов, измеренных на изолированной модели и модели, расположенной вблизи стенки, т. е.

$$C_{Xin} = \sum C_X - C_{Xbh}; \quad (9)$$

$$C_{Yin} = \sum C_Y - C_{Ybh}, \quad (10)$$

$$C_{mZin} = \sum C_{mZ} - C_{mZbh}, \quad (11)$$

где $\sum C_X$, $\sum C_Y$, $\sum C_{mZ}$ — безразмерные продольная и боковая составляющие силы и безразмерный момент, определяемые по результатам измерений при буксировке модели со стенкой; C_{Xbh} , C_{Ybh} , C_{mZbh} — безразмерная продольная и боковая составляющие гидродинамической силы и безразмерный гидродинамический момент на изолированном корпусе.

Продольная составляющая силы взаимодействия (см. рис. 6). Из графика следует, что продольная составляющая силы взаимодействия знакопеременна, в отличие от продольной составляющей силы на изолированной модели (см. рис. 3). В диапазоне малых углов разворота она отрицательна, т.е. увеличивает продольную составляющую силы. В диапазоне больших углов разворота она положительна, и уменьшает значение продольной силы. Максимальные значения продольной силы при больших углах разворота находятся в тех же точках, что и для изолированной модели, и наблюдаются при движении носом к экрану — на 90° , и при движении кормой к экрану — на 270° . Максимальная величина безразмерной силы взаимодействия составляет $0,15 - 0,18$, что соответствует продольной силе на корпусе при угле дрейфа 30° .

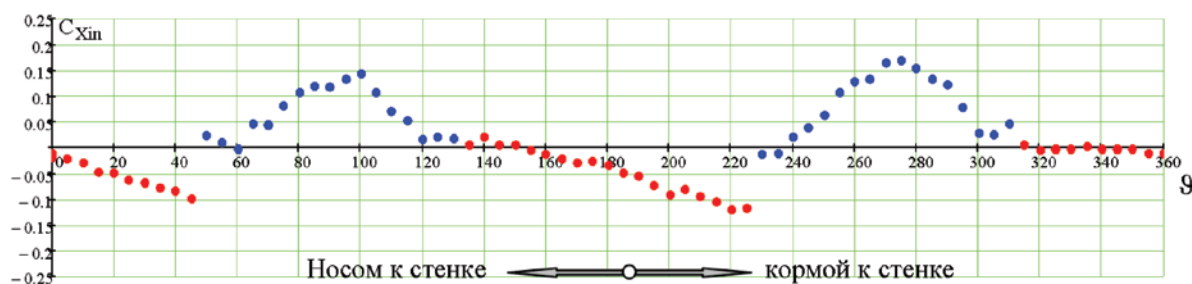


Рис. 6. Продольная составляющая силы на голом корпусе. Модель у стенки

Поперечная составляющая силы взаимодействия (рис. 7). Поперечная составляющая силы взаимодействия также знакопеременна. Однако если на изолированной модели поперечная

сила обращается в ноль при углах 90° , 180° , 270° (см. рис. 4), то на корпусе модели, расположенной вблизи стенки при углах 90° и 270° существуют локальные экстремумы. При малых углах разворота из-за влияния стенки возникает поперечная сила, отталкивающая модель от стенки. При углах разворота появляется сила «присасывания». По величине сила «присасывания» сопоставима с поперечной силой на изолированном корпусе при угле дрейфа 20° .

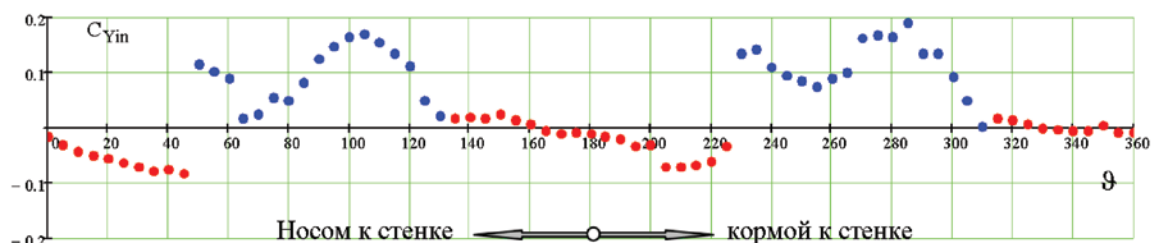


Рис. 7. Боковая составляющая силы на голом корпусе. Модель у стенки

Гидродинамический момент взаимодействия (рис. 8). Гидродинамический момент взаимодействия знакопеременен и имеет на промежутке $0^\circ - 360^\circ$ четыре экстремума.

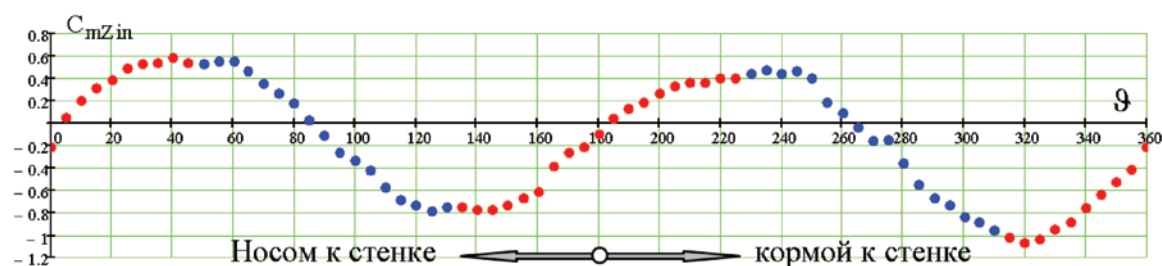


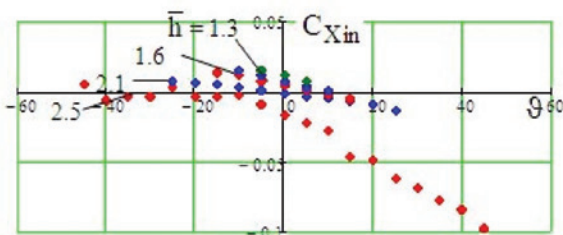
Рис. 8. Момент взаимодействия на голом корпусе. Модель у стенки

Максимальные значения безразмерного гидродинамического момента превосходят соответствующие значения гидродинамического момента на изолированной модели в два-четыре раза. Существенное увеличение момента наблюдается в момент, когда диаметральной плоскостью оказывается развернутой под углом 45° к экрану. Физическую причину столь резкого увеличения момента взаимодействия необходимо исследовать.

5.2. Влияние расстояния до стенки на величину гидродинамических характеристик взаимодействия

Влияние расстояния до стенки исследовалось только при малых углах разворота модели, что было обусловлено физическими ограничениями (рис. 9 – 11).

а)



б)

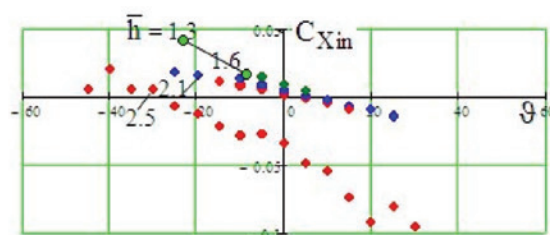
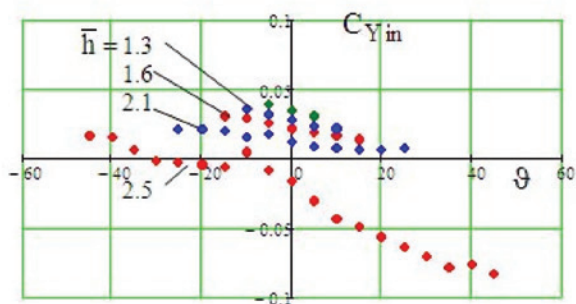


Рис. 9. Изменение продольной силы в зависимости от угла разворота модели при изменении расстояния до стенки:
а) носом вперед; б) кормой вперед

а)



б)

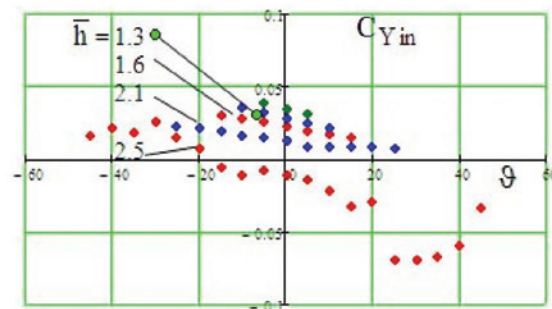
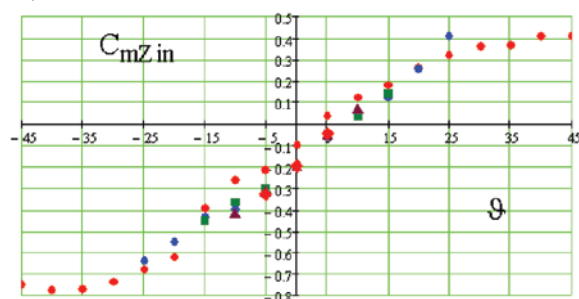


Рис. 10. Изменение поперечной силы в зависимости от угла разворота модели при изменении расстояния до стенки:
а) носом вперед; б) кормой вперед

а)



б)

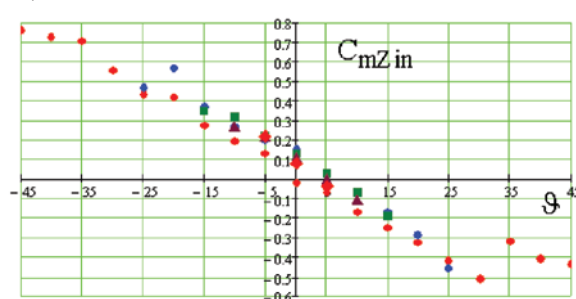


Рис. 11. Изменение гидродинамического момента в зависимости от угла разворота модели при изменении расстояния до стенки:
а) носом вперед; б) кормой вперед

Продольная и поперечная составляющие силы взаимодействия. С уменьшением расстояния до стенки и продольная, и поперечная составляющие силы взаимодействия увеличиваются. Качественный характер зависимости сохраняется как при движении судна носом вперед, так и кормой вперед. Влияние угла дрейфа по мере приближения к стенке увеличивается. На величину гидродинамического момента взаимодействия уменьшение расстояния до стенки существенного влияния не оказывает. Влияние угла дрейфа стенки практически не зависит.

Влияние расстояния от центра тяжести модели до стенки при постоянных значениях угла разворота, представленные на рис. 12 — 14, позволяют заключить, что гидродинамические характеристики не принимают бесконечно больших значений вблизи стенки, как это утверждалось ранее [2].

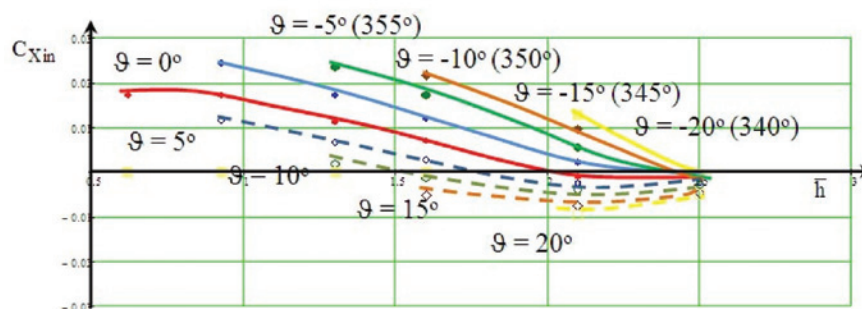


Рис. 12. Изменение продольной силы в зависимости от изменения расстояния до стенки при различных углах разворота модели

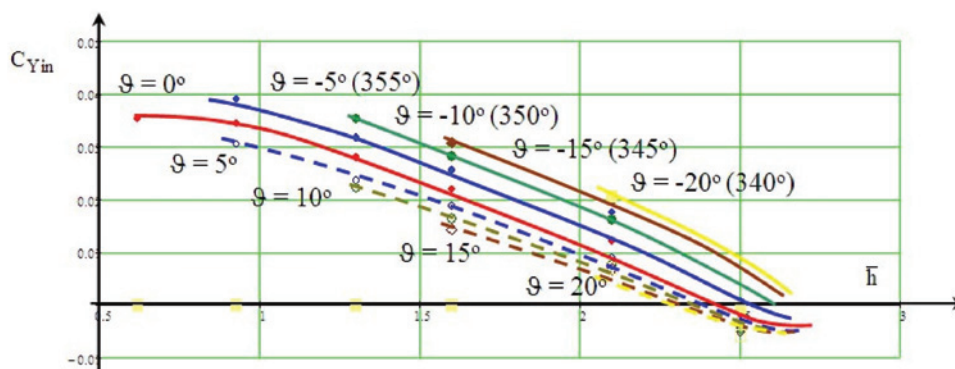


Рис. 13. Изменение поперечной силы в зависимости от изменения расстояния до стенки при различных углах разворота модели

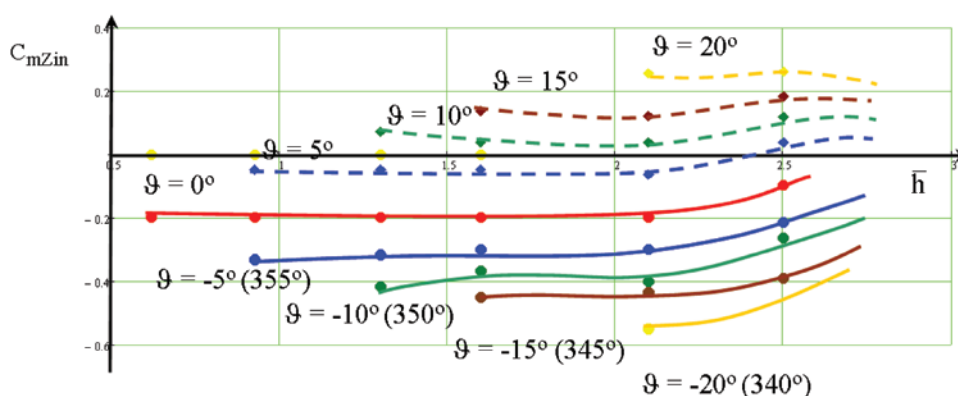


Рис. 14. Изменение момента взаимодействия в зависимости от изменения расстояния до стенки при различных углах разворота модели

При удалении центра тяжести модели от стенки на расстояние, превышающее три ширины корпуса, гидродинамические характеристики стремятся к нулю.

ВЫВОДЫ

1. При удалении от стенки на 2,5 ширины корпуса гидродинамические характеристики взаимодействия знакопеременны и имеют локальные экстремумы. Максимальные значения составляющих силы взаимодействия соответствуют силе на голом корпусе изолированной модели при углах дрейфа 5° — 10° . Максимальные значения момента взаимодействия в несколько раз превосходят соответствующие значения на голом корпусе изолированной модели.
2. По мере приближения к стенке составляющие гидродинамической силы взаимодействия растут, достигая на границе области определения конечных значений. Влияние угла дрейфа по мере приближения к стенке увеличивается.
3. По мере приближения к стенке гидродинамический момент взаимодействия растет, достигая на границе области определения конечных значений. При расстояниях от стенки, меньших $2B$, влияние угла дрейфа по мере приближения к стенке не изменяется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по теории корабля: в 3-х т. — Л.: Судостроение, 1985. — Т. 3. — 542 с.
2. Мاستушкин Ю. М. Гидродинамическое взаимодействие судов при встречах и обгонах / Ю. М. Мاستушкин. — Л.: Судостроение, 1987. — 123 с.
3. Dand I. W. Some measurements of Interaction of Interaction induced by Surface-Piercing and Flooded Banks / I. W. Dand. — Feltham: National Maritime Institute, 1981. — 90 p.

4. Manoeuvring Technical Manual. Group of experts edited by Capt. Dipl.-Ing. J. Brix. – Hamburg, 1993.
5. Лебедева М. П. Масштабный эффект при оценке управляемости судна по результатам модельных испытаний / М. П. Лебедева, Е. П. Николаев // Вопросы судостроения. Серия: Проектирование судов. — 1984. — № 41. — С. 86–89.
6. Лебедева М. П. Масштабный эффект при определении гидродинамических характеристик судов с полными обводами в циркуляционном опытовом бассейне / М. П. Лебедева, Е. П. Николаев // Труды Российского НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова. — 1982. — № 363.
7. Лебедева М. П. Особенности отрывного течения около корпуса судна, движущегося по криволинейной траектории / М. П. Лебедева, Е. П. Николаев, В. М. Пашин // Труды VIII Сибирской школы по моделям механики сплошной среды. — 1985.
8. Лебедева М. П. Математическая модель неустановившегося движения судна / М. П. Лебедева, Т. Н. Инютина // Труды международного симпозиума по гидродинамике судна памяти А. М. Басина. — 1995.
9. Басин А. М. «Гидродинамика судов на мелководье / А. М. Басин, И. О. Веледницкий, А. Г. Ляховицкий. — Л.: Судостроение, 1976. — 320 с.
10. Афремов А. Ш. Решение проблем управляемости кораблей в циркуляционном и маневренно-мореходном бассейнах / А. Ш. Афремов // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2009.

THE SHIP FLAT WALL INTERACTION HYDRODYNAMICAL CHARACTERISTIC

The analyses of experimental data of ship model flat wall interaction hydrodynamic characteristic are under consideration. The investigations of interaction hydrodynamic characteristic were fulfilled at early 90-th in circular tank of KSRI. The work was not completed then because of absence of needing technical equipment. As it followed from literature review the new information about ship wall interaction force is absent. As the problem of ship motion near the wall is still important, but the interaction hydrodynamic characteristic are not defies as yet, the old problem appears under consideration again.

The experimental data and their analyses results allowing to define ship wall interaction force are under consideration.

Keywords: hydrodynamic interaction, experiment, ship model, flat wall, the model wall angle.

REFERENCES

1. Spravochnik po teorii korablja: v 3 t. T. 3. L.: Sudostroenie, 1985.
2. Mastushkin, Ju. M. *Gidrodinamicheskoe vzaimodejstvie sudov pri vstrechah i obgonah*. L.: Sudostroenie, 1987.
3. Dand, I. W. *Some measurements of Interaction of Interaction induced by Surface-Piercing and Flooded Banks*. Feltham: National Maritime Institute, 1981.
4. Manoeuvring Technical Manual. Group of experts edited by Capt. Dipl.-Ing. J.Brix. Hamburg, 1993.
5. Lebedeva, M.P., and E. P. Nikolaev. “Masshtabnyj jeffekt pri ocenke upravljaemosti sudna po rezul’tatam model’nyh ispytaniy.” *Voprosy sudostroenija, Serija: Proektirovanie sudov* 41 (1984): 86-89.
6. Lebedeva, M. P., and E. P. Nikolaev. “Masshtabnyj jeffekt pri opredelenii gidrodinamicheskikh harakteristik sudov s polnymi obvodami v cirkuljacionnom opytovom bassejne.” *Trudy NTO im. akad. A. N. Krylova* 363 (1982).
7. Lebedeva, M. P., E. P. Nikolaev, and V. M. Pashin. “Osobennosti otrivnogo techenija okolo korpusa sudna, dvizhushhegosja po krivolinejnoj traektorii.” *Trudy VIII Sibirskoj shkoly po modeljam mehaniki sploshnoj sredy* (1985).
8. Lebedeva, M. P., and T. N. Injutina. “Matematicheskaja model neustanovivshegosja dvizhenija sudna.” *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma po gidrodinamike sudna pamjati A.M. Basina* (1995).
9. Basin, A. M., I. O. Velednickij, and A. G. Ljahovickij. *Gidrodinamika sudov na melkovode*. L.: Sudostroenie, 1976.
10. Afremov, A. Sh. “Reshenie problem upravljaemosti korablej v cirkuljacionnom i manevrenno-morehodnom bassejnah.” *Trudy Centralnogo Nauchno issledovatel'skogo instituta im. Akademika A. N. Krylova* (2009).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лебедева Марина Петровна –
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
lmp45@yandex.ru
Васильева Анастасия Борисовна –
ассистент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
Инютина Татьяна Николаевна

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lebedeva Marina Petrovna –
Candidate of Engineering,
Senior Research Fellow.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
lmp45@yandex.ru
Vasileva Anastasija Borisovna —
assistant.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
Injutina Tatjana Nikolaevna

УДК 629.122

С. С. Метелица

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСХОДА ГАЗА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВОЗДУШНОЙ КАВЕРНЫ НА ДНИЩЕ КАТАМАРАНОВ

Показан один из путей значительного снижения гидродинамического сопротивления движению скоростного судна. Выявлены наиболее существенные факторы, влияющие на величину сопротивления движению судов на воздушной каверне (СВК). Одним из существенных факторов, влияющих на экономичность эксплуатации СВК, является минимально возможный расход энергии, затрачиваемой на подачу воздуха и поддержание избыточного давления в камере каверны. В связи с этим была сформулирована и опытным путем решена задача по поиску оптимального расхода газа для создания каверны. Приведена методика проведения эксперимента по нахождению оптимального расхода газа для создания каверны. Показаны результаты решения экспериментальной задачи по нахождению оптимальной величины расхода воздуха Q для создания воздушной каверны на днище высокоскоростного катамарана. Приведены зависимости расхода газа при различных скоростях движения и различных водоизмещениях судна. Проведен сравнительный анализ величины буксировочного сопротивления изолированного корпуса катамарана, оборудованного воздушной каверной, и корпуса высокоскоростного катамарана.

Ключевые слова: воздушная каверна, оптимизация расхода газа, зона автомодельности, буксировочное сопротивление, высокоскоростной катамаран.

Введение

Быстроходные суда — суда на подводных крыльях (СПК), глиссеры, суда с малой площадью ватерлинии, суда на воздушной подушке (СВП), экранопланы — важный показатель технического прогресса. В условиях стремительно развивающихся технологий сокращение времени морских перевозок является одной из важнейших задач современного судостроения.

Способом повышения скорости судов длительное время являлось улучшение формы их обводов (например, использование бульбов в носовой оконечности, уменьшение угла входа носовых ватерлиний), а также совершенствование энергетической установки. Кардинального снижения сопротивления удалось достичь за счет применения гидроаэродинамической разгрузки, приводящей к выходу из воды либо всего корпуса, либо его части. Разгрузка может достигаться за счет использования подводных крыльев, воздушной подушки, воздушных крыльев и глиссирования корпуса. Такие суда получили общее название — суда с динамическими принципами поддержания (далее — СДПП). Вследствие выхода корпуса СДПП из воды уменьшаются волновое сопротивление и сопротивление трения. При этом волновое сопротивление в крейсерском режиме практически