

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ДИФФЕРЕНТА МАЛЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ СУДОВ С БОЛЬШОЙ ПОЛНОТОЙ КОРПУСА НА МОРЕХОДНЫЕ КАЧЕСТВА

Е. А. Чуреев¹, О. П. Орлов², И. В. Якута³

¹ *Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Российская Федерация*

² *Крыловский государственный научный центр,
Санкт-Петербург, Российская Федерация*

³ *Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота,
Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Российская Федерация*

Оптимальным архитектурно-конструктивным типом судов для промысла на Балтийском море являются малые траулеры с большими коэффициентами полноты формы корпуса. Установлено, что при достижении ожидаемых скоростей движения судна происходит сильное увеличение буксировочного сопротивления и появляется значительный дифферент на нос. Для выяснения причин проведены дополнительные исследования взаимосвязи изменения ходовой посадки и буксировочного сопротивления судна на различных режимах движения с целью выбора оптимального построечного дифферента судна. Программа испытаний включала в себя буксировочные испытания модели судна в диапазоне скоростей от 4 до 12 уз натурного судна при одном значении водоизмещения и при различных начальных значениях дифферента на корму. Сделан вывод о том, что в процессе проектирования малых промысловых судов (длиной до 24 м) целесообразно ограничить максимальную скорость движения 11 уз, что соответствует числу Фруда около 0,4. При дальнейшем увеличении скорости движения судна коэффициент остаточного сопротивления будет увеличиваться в разы, что приведёт к непропорциональному росту необходимой мощности. Коэффициент остаточного сопротивления корпуса судна будет минимальным при условии, что судно будет двигаться на расчётной скорости на ровный киль, при этом оптимальный угол начального дифферента равен 1,0–2,5 град на корму. Отмечено, что неверная удифферентовка малых промысловых судов с большой полнотой обводов может привести к увеличению остаточного сопротивления до 30 %. Результаты экспериментальных исследований могут быть применены ко всем малым промысловым судам, имеющим близкие коэффициенты полноты. Рекомендовано для установления зависимости полноты судна с величиной ходовой просадки судна провести комплексные испытания с разными, имеющими различные коэффициенты полноты, моделями судов.

Ключевые слова: число Фруда, строительный дифферент, малое промысловое судно, большая полнота обводов, остаточное сопротивление, экспериментальные исследования.

Для цитирования: Чуреев Е. А., Орлов О. П., Якута И. В. Исследование влияния строительного дифферента малых промысловых судов с большой полнотой корпуса на мореходные качества // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 4. С. 30–38. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-4-30-38.

Введение

Добыча морских биоресурсов в прибрежной морской зоне является наиболее важной для регионов Российской Федерации, имеющих выход к морям. В Калининградской области (за счёт географических особенностей) данный вид промысла должен обеспечить население свежей или охлажденной рыбой высокого качества с минимальной наценкой. В результате анализа материалов [1–5] можно сделать вывод, что строить суда по старым проектам нецелесообразно, необходимо создавать абсолютно новый флот для добычи рыбы на Балтике.

Согласно [2] приближенным к оптимальному архитектурно-конструктивному типу судна для промысла на Балтийском море является малый траулер с большими коэффициентами полноты формы корпуса. Указанный тип судна может стать основой нового рыбопромыслового флота.

В работе [3] приведены результаты экспериментальных исследований формы корпуса существующих малых промысловых судов, продолжающих работать в акватории Балтийского моря в настоящее время. Результаты исследований подтвердили связь между ростом буксировочного сопротивления и изменением ходового дифферента судна.

Целью настоящей работы является исследование взаимосвязи изменения ходовой посадки и буксировочного сопротивления судна на различных режимах движения для выбора оптимального построечного дифферента судна.

Итоги предыдущих испытаний

Объектом испытаний является модель малого рыболовного кормового траулера (МРТК), разработанного конструкторским бюро «Адомат» (г. Светлый, Калининградская область). Для удобства далее будем называть данное судно МРТК «Адомат». Основные данные по судну приведены в табл. 1, теоретический чертёж представлен на рис. 1.

Таблица 1

Основные данные по судну МРТК «Адомат»

| Параметры | Значение |
|--|----------------------|
| Тип судна | МРТК нового типа |
| Назначение | Лов и перевозка рыбы |
| Длина между перпендикулярами, м | 23,1 |
| Ширина габаритная, м | 8,50 |
| Ширина по КВЛ, м | 8,50 |
| Расчётная скорость свободного хода, уз | 11,0 |

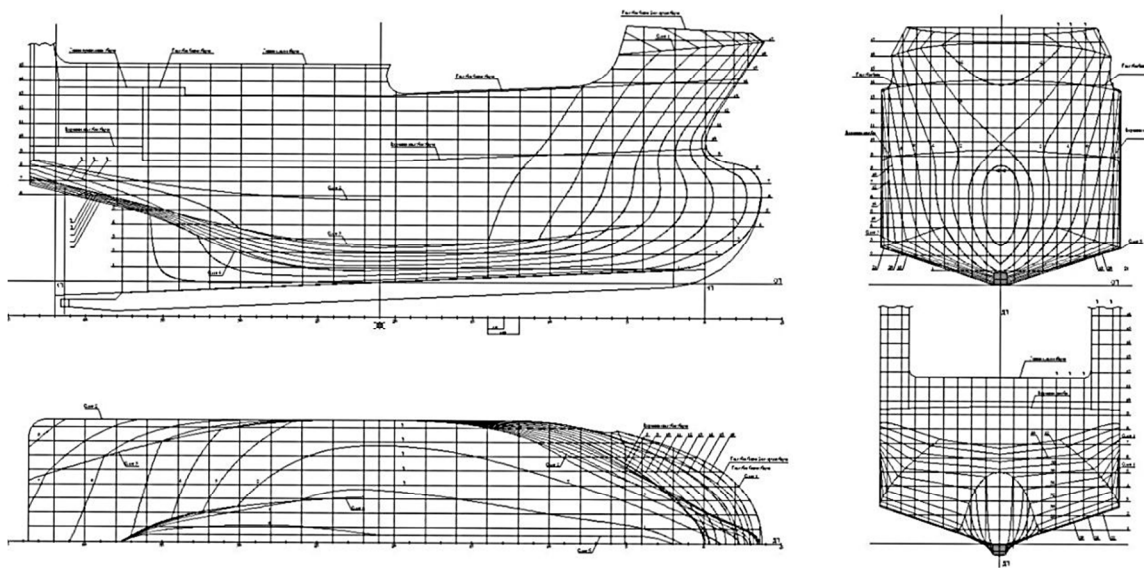


Рис. 1. Теоретический чертёж МРТК «Адомат»

В соответствии с техническим заданием исследования корпуса МРТК «Адомат» проводились с целью определения буксировочного сопротивления судна на тихой воде в следующих случаях нагрузки судна (табл. 2).

Таблица 2

Случаи нагрузки судна МРТК «Адомат»

| Случай нагрузки* | 1 | 2 | 3 |
|------------------|---------------------------|--|--|
| Посадка судна | T = 3,80 м Ровный киль | T _н = 3,43 м; T _к = 4,17 м | T _н = 2,71 м; T _к = 3,91 м |

* Водоизмещение судна в 1-м и 3-м случаях нагрузки одинаково.

Во время испытаний фиксировались следующие показатели [6]:

- сопротивление воды движению модели судна;
- изменение посадки судна на миделе;
- изменение посадки судна в носу (в районе форштевня).

На заданных режимах движения судна скорость была 9–12 уз.

В результате исследований было установлено, что при достижении ожидаемых скоростей движения судна (9–12 уз) происходит сильное увеличение буксировочного сопротивления и появляется значительный дифферент на нос. Кривые изменения остаточного сопротивления и ходового дифферента модели судна представлены на рис. 2 и 3 соответственно.

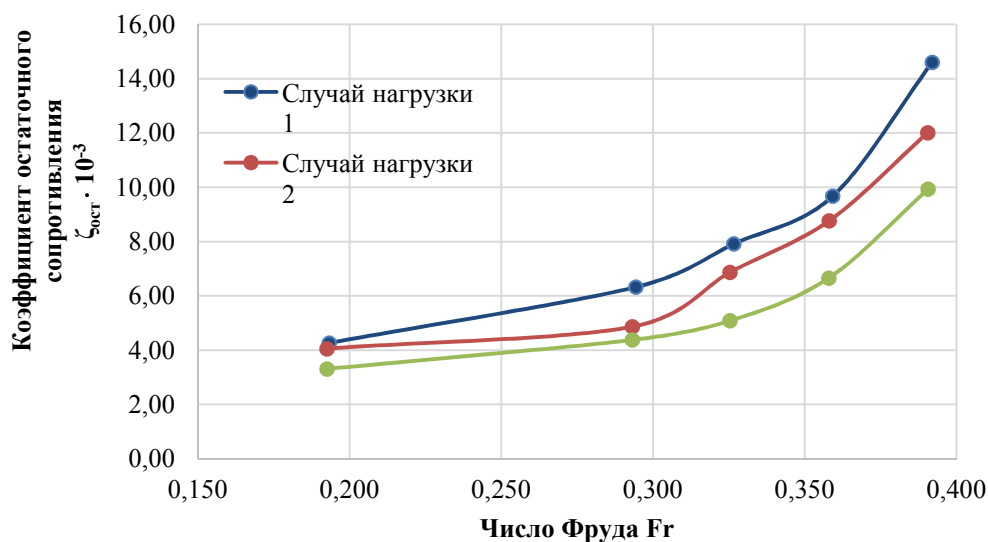


Рис. 2. Зависимость коэффициента остаточного сопротивления судна от числа Фруда

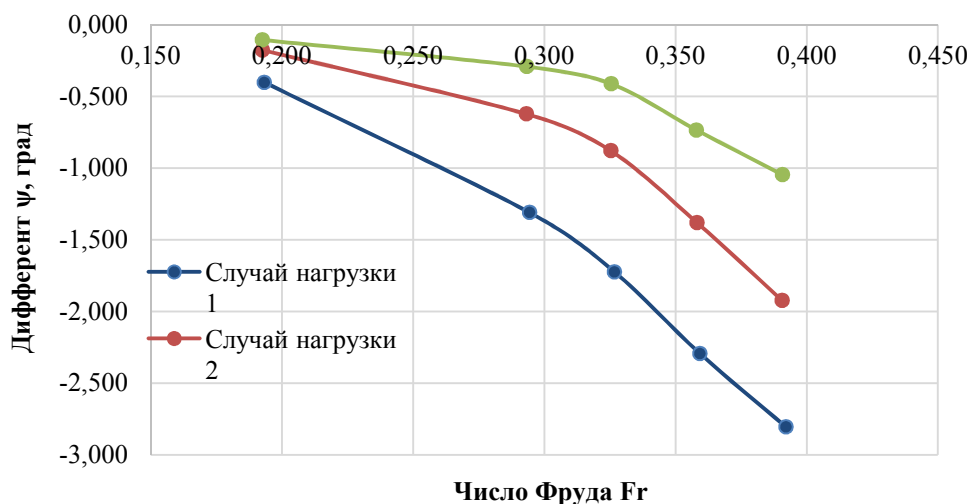


Рис. 3. Зависимость изменения дифферента судна от числа Фруда

Причиной данного явления может быть область низкого давления, образующаяся в районе наибольших объемов корпуса при обтекании жидкости на относительно больших числах Фруда, а также геометрическая форма носового бульба модели, которая в процессе движения может давать момент, дифференцирующий на нос. Визуально появление дифферента на нос можно увидеть на фотографиях носовой оконечности при проведении испытаний (рис. 4–6).

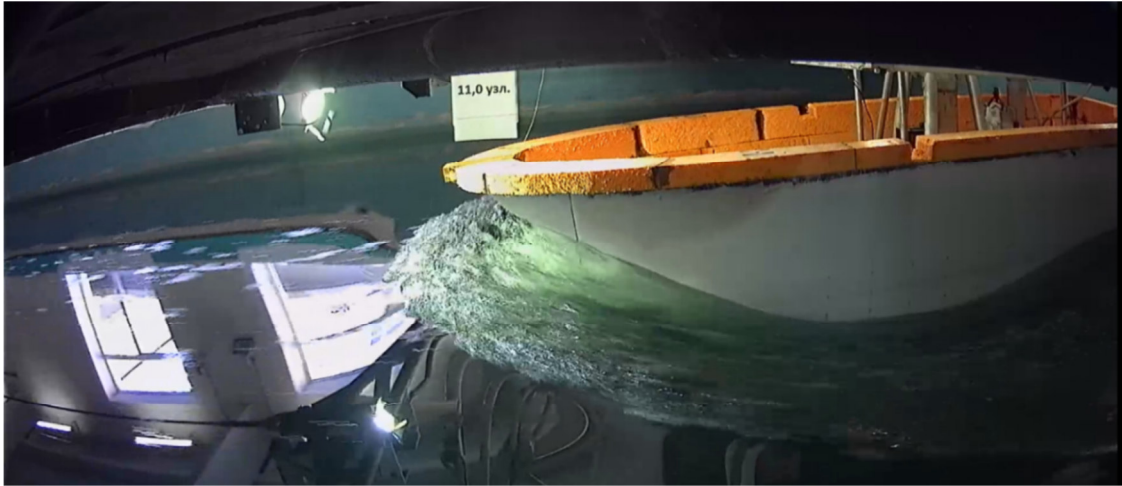


Рис. 4. Вид сбоку в 1-м случае нагрузки. Скорость – 11 уз ($Fr = 0,36$)

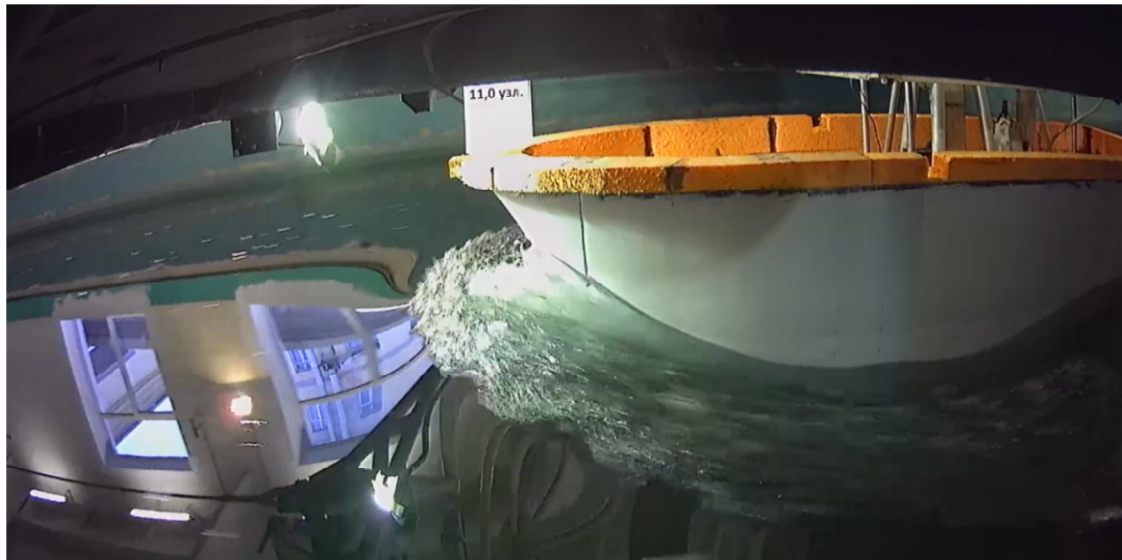


Рис. 5. Вид сбоку в 2-м случае нагрузки. Скорость – 11 уз ($Fr = 0,36$)



Рис. 6. Вид сбоку в 3-м случае нагрузки. Скорость – 11 уз ($Fr = 0,36$)

Анализ результатов проведённых испытаний подтверждает, что при одинаковом водоизмещении (1-й и 3-й случаи нагрузки) при различном начальном дифференте коэффициент остаточного сопротивления корпуса судна на расчётных скоростях различается на 30 %. Кроме того, установлено сильное изменение ходовой (динамической) просадки носовой оконечности судна, которое также может влиять на остаточное сопротивление.

Результаты данных испытаний ставят перед исследователем следующие вопросы:

- существует ли зависимость между абсолютным углом дифферента судна во время движения и коэффициентом остаточного сопротивления;
- какой угол начального дифферента на корму является оптимальным с точки зрения минимизации коэффициента остаточного сопротивления.

Подготовка и проведение модельных испытаний

Для ответа на поставленные вопросы были проведены дополнительные испытания модели судна МРТК «Адомат». Программа испытаний включала в себя буксировочные испытания модели судна в диапазоне скоростей от 4 до 12 уз натурального судна при одном значении водоизмещения и при различных начальных значениях дифферента на корму. Значения, фиксирующиеся в процессе испытаний: сопротивление воды движению модели судна, изменение посадки судна на миделе, изменение посадки судна в носу (в районе форштевня).

Исходные данные для проведения испытаний и дальнейшей обработки результатов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные для проведения испытаний

| Параметры | Значения | | | | | | | |
|--|----------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0,447 | | | | | | | |
| Водоизмещение объёмное модели судна V , м ³ | 0,447 | | | | | | | |
| Угол дифферента, град | 0 | 0,6 | 1,6 | 2,2 | 3,0 | 3,6 | 4,5 | 5,3 |
| Длина модели судна по ватерлинии L_{wl} , м | 2,655 | 2,659 | 2,663 | 2,663 | 2,66 | 2,656 | 2,649 | 2,64 |
| Площадь смоченной поверхности модели судна Ω , м ² | 3,366 | 3,365 | 3,364 | 3,362 | 3,352 | 3,345 | 3,335 | 3,326 |
| Абсцисса центра величины X_G , м | 0,034 | 0,016 | -0,014 | -0,032 | -0,057 | -0,076 | -0,103 | -0,128 |

В результате проведённых испытаний и обработки полученных данных были построены графики изменения остаточного сопротивления от числа Фруда при различных начальных углах дифферента судна, графики изменения ходового дифферента (просадка) судна от числа Фруда, а также график зависимости абсолютного дифферента от числа Фруда. Все перечисленные графики представлены на рис. 7–9.

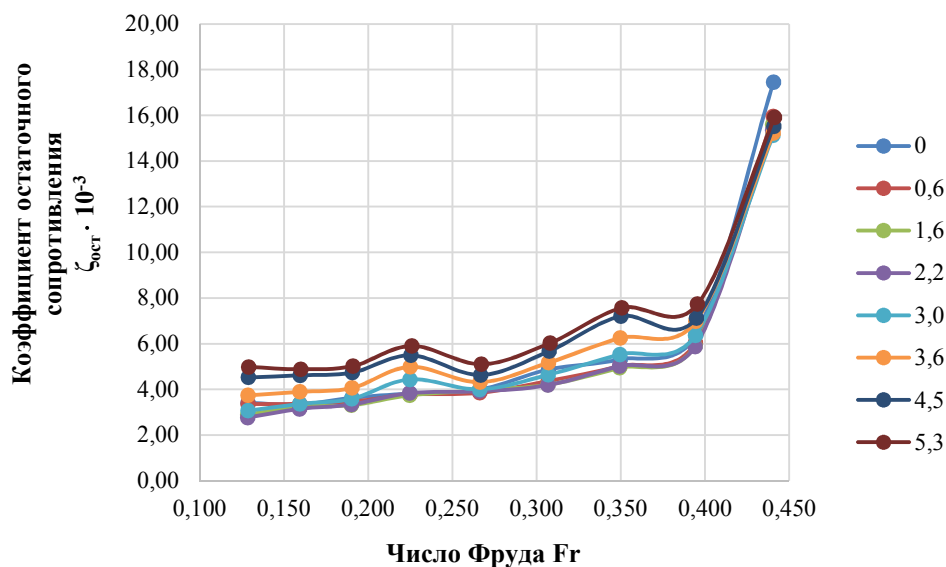


Рис. 7. Зависимость коэффициента остаточного сопротивления судна от числа Фруда при различных значениях начального дифферента

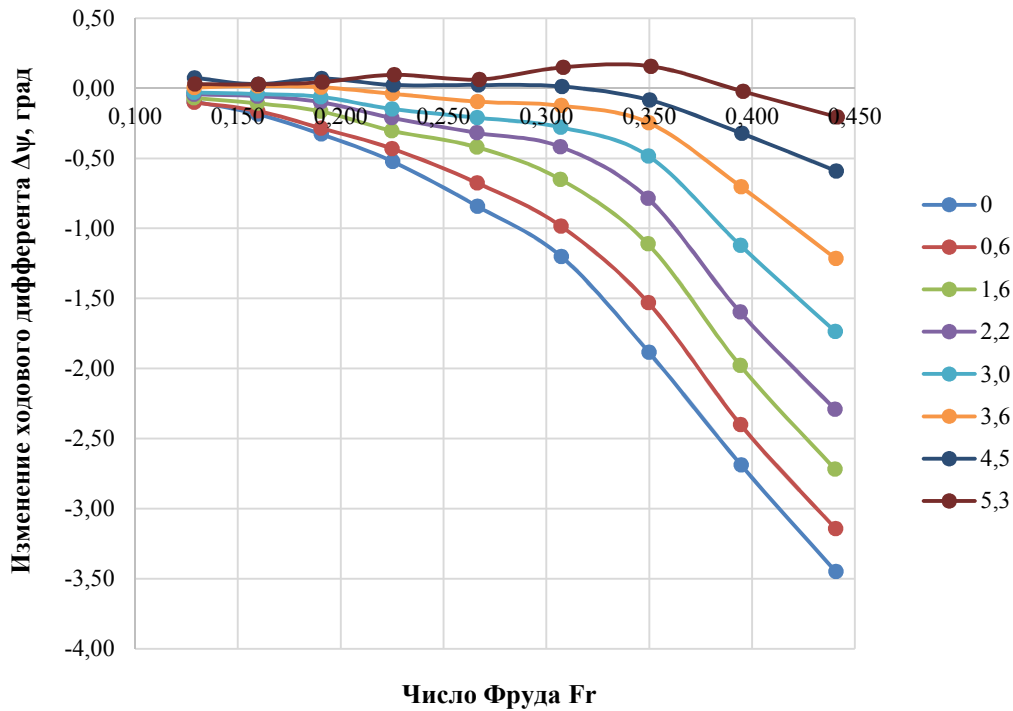


Рис. 8. Зависимость изменения ходового дифферента судна от числа Фруда при различных значениях начального дифферента (отрицательные значения ходового дифферента доказывают, что носовая часть судна имеет просадку больше, чем на миделе)

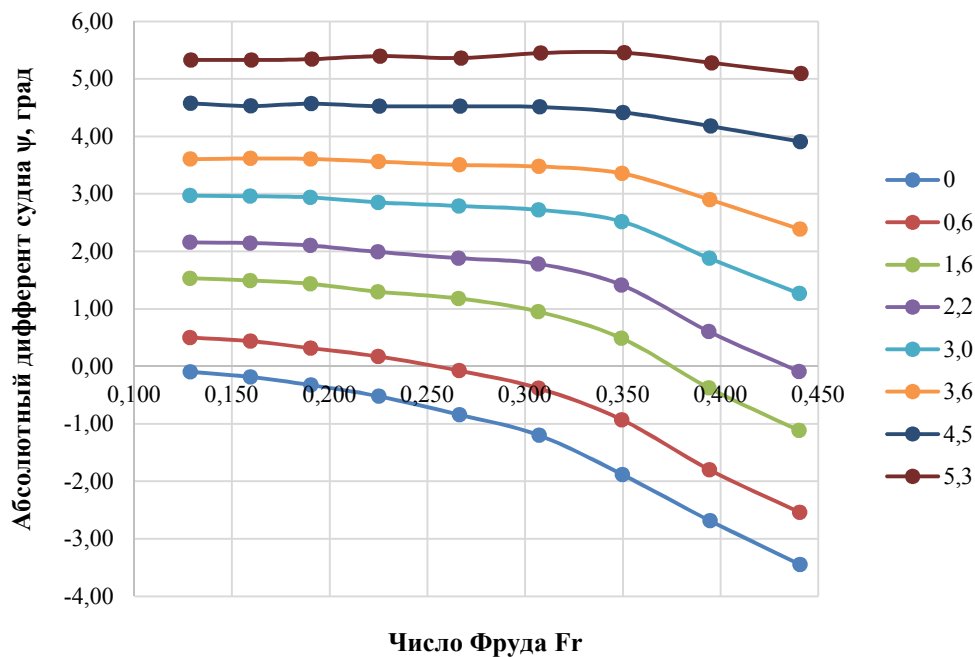


Рис. 9. Зависимость абсолютного дифферента судна от числа Фруда при различных значениях начального дифферента

Для возможности более детального анализа рис. 7 будет отмасштабирован в диапазоне чисел Фруда 0,25–0,40. Данный диапазон включает в себя точки графиков, соответствующие скоростям 8–11 уз натурального судна. Увеличенный график представлен на рис. 10.

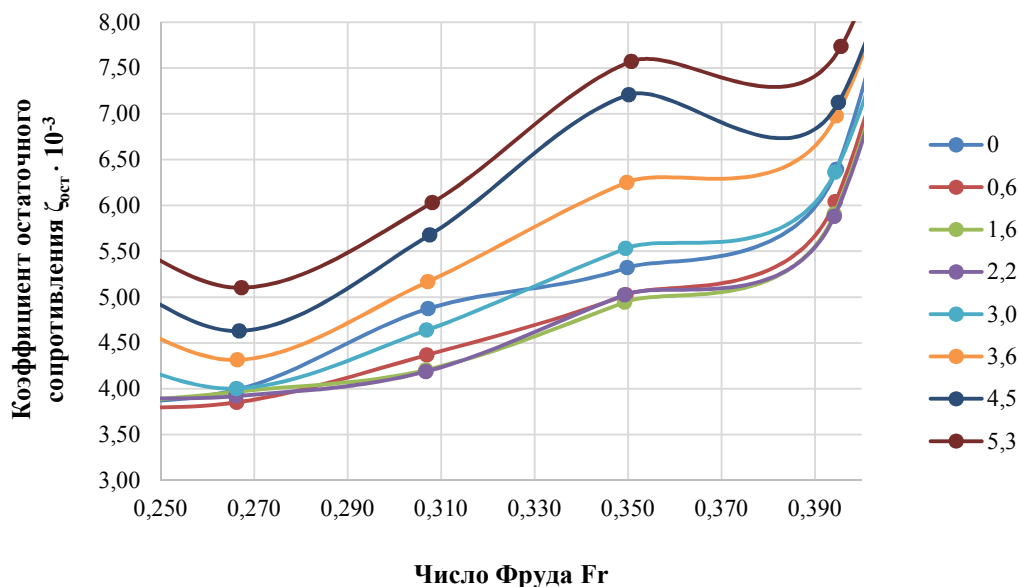


Рис. 10. Зависимость коэффициента остаточного сопротивления судна от числа Фруда при различных значениях начального дифферента (увеличенный)

Анализ графика (рис. 10) доказывает, что минимальный коэффициент остаточного сопротивления корпуса судна в диапазоне скоростей 8–11 уз натурального судна будет при углах начального дифферента 1,6 и 2,2 град. При угле начального дифферента 0,6 град значение коэффициента остаточного сопротивления незначительно, но больше, чем при углах дифферента 1,6 и 2,2 град. При большем отдалении от оптимальных углов начального дифферента коэффициент остаточного сопротивления достаточно резко возрастает (например, при начальном дифференте в 3,0 град значение коэффициента остаточного сопротивления на 10 % больше оптимального).

При сопоставлении результатов (график зависимости коэффициента остаточного сопротивления (рис. 10) и зависимости абсолютного дифферента судна (рис. 9)) можно отметить, что минимальные значения коэффициента остаточного сопротивления на определённых скоростях соответствуют пересечению определённых кривых с осью абсцисс на рис. 9, т. е. ходовой посадке судна на ровный киль.

Выводы

На основании приведённых выше исследований можно сделать следующие выводы:

1. В процессе проектирования малых промысловых судов (длиной до 24 м) целесообразно ограничить максимальную скорость движения до 11 уз, что соответствует числу Фруда около 0,4. При дальнейшем увеличении скорости движения судна коэффициент остаточного сопротивления будет увеличиваться в разы, что приведёт к непропорциональному росту необходимой мощности;
2. Коэффициент остаточного сопротивления корпуса судна будет минимальным при условии, что судно будет двигаться на расчётной скорости на ровный киль;
3. Оптимальный угол начального дифферента лежит в диапазоне 1,0–2,5 град на корму;
4. Неправильная удифферентовка малых промысловых судов с большой полнотой обводов может привести к увеличению остаточного сопротивления до 30 %.

Данные результаты могут быть применены ко всем малым промысловым судам, имеющим близкие коэффициенты полноты, однако на данном этапе невозможно однозначно связать зависимость полноты судна с величиной ходовой просадки судна. Для установления такой зависимости необходимо провести комплексные испытания с разными моделями судов, имеющих различные коэффициенты полноты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чурев Е. А. Несоответствие мощностей промыслового флота и береговой инфраструктуры в Калининградской области // Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии: материалы IV Междунар. науч. конф. (Калининград, 22–28 мая 2016 г.). Калининград: Изд-во БГАРФ, 2016. 1648 с. С. 221–226.

2. Чуреев Е. А. К вопросу о выборе архитектурно-конструктивного типа малого рыболовного траулера для Балтийского моря // Мор. интеллектуал. технологии. 2017. № 3 (37). Т. 1. 175 с. С. 35–38.
3. Чуреев Е. А. Исследование формы обводов маломерного рыболовного траулера с целью повышения его мореходных качеств // Мор. интеллектуал. технологии. 2018. № 3-4 (42). С. 36–43.
4. Справочник по теории корабля. Т. 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители / под ред. Я. И. Войткунского. Л.: Судостроение, 1985. 768 с.
5. Иванов В. П. Техничко-экономические основы создания рыболовных судов: учеб. Калининград: Изд-во БГАРФ, 2010. 274 с.
6. Гайкович А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов: моногр. СПб.: Моринтех, 2014. 872 с.

Статья поступила в редакцию 02.08.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чуреев Евгений Андреевич – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры кораблестроения; e.chureev@klgtu.ru.

Орлов Олег Павлович – Россия, 196158, Санкт-Петербург; Крыловский государственный научный центр; д-р техн. наук, профессор; главный научный сотрудник 5 отделения; or_orlov@ksrc.ru.

Якута Ирина Владимировна – Россия, 236029, Калининград; Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота Калининградского государственного технического университета; канд. техн. наук; доцент кафедры безопасности мореплавания; Ykutas@rambler.ru.



STUDYING INFLUENCE OF DESIGNED TRIM IN SMALL FISHING VESSELS WITH GREAT HULL FULLNESS ON THEIR SEAWORTHINESS

E. A. Chureev¹, O. P. Orlov², I. V. Yakuta³

¹ *Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russian Federation*

² *Krylov State Research Centre,
Saint-Petersburg, Russian Federation*

³ *Baltic Fishing Fleet State Academy, Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russian Federation*

Abstract. The paper highlights the problem of the small trawlers with great block coefficient, despite their optimal architectural and constructive characteristics for fishing in the Baltic Sea. It has been stated that when the expected speeds of the vessel are reached, their towing resistance increases greatly and a significant trim appears on the bow. To clarify the reasons there have been carried out the additional studies of the relation between changes in the landing gear and the towing resistance of the vessel in different modes of movement in order to select the optimum trim for the vessel. The test program included towing tests of a ship model in the speed range 4-12 knots of a full-scale ship with one displacement value and different initial trim values at the stern. It has been inferred that at the stage of designing small fishing vessels (up to 24 meters long) it is advisable to limit the maximum speed to 11 knots, which corresponds to a Froude number ≈ 0.4 . Further increase in the speed of the vessel will result in rising a residual resistance coefficient considerably, which will lead to a disproportionate increase in the required power. The residual resistance coeffi-

cient of the hull is minimal, provided that the vessel moves at the calculated speed with an even keel, while the optimum angle of the initial trim makes 1.0-2.5 degrees aft. Improper longitudinal balance of small fishing vessels with a large completeness of contours can lead to an increase in residual resistance of up to 30%. The experimental results can be applied to all small fishing vessels with similar block coefficients. It has been recommended to conduct the full-scale tests with different ship models having various block coefficients in order to define the dependence between the completeness of the vessel and the value of drawdown.

Key words: Froude number, designed trim, small fishing vessel, great hull configuration, residual resistance, experimental studies.

For citation: Chureev E. A., Orlov O. P., Yakuta I. V. Studying influence of designed trim in small fishing vessels with great hull fullness on their seaworthiness. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;4:30-38. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-4-30-38.

REFERENCES

1. Chureev E. A. Nesootvetstvie moshchnostej promyslovogo flota i beregovoj infrastruktury v Kaliningradskoj oblasti. Morskaya tekhnika i tekhnologii. Bezopasnost' morskoy industrii [Inconsistency of fishing fleet capacities and coastal infrastructure in Kaliningrad region. Marine engineering and technology. Marine Safety]. *Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Kaliningrad, 22–28 maya 2016 g.)*. Kaliningrad, Izd-vo BGARF, 2016. 1648 p. Pp. 221-226.
2. Chureev E. A. K voprosu o vybore arhitekturno-konstruktivnogo tipa malogo rybolovnogo traulera dlya Baltijskogo morya [On problem of choosing architectural and constructive type of small fishing trawler for the Baltic Sea]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2017, no. 3 (37), vol. 1. 175 p. Pp. 35-38.
3. Chureev E. A. Issledovanie formy obvodov malomernogo rybolovnogo traulera s cel'yu povysheniya ego morekhodnyh kachestv [Studying hull lines of small fishing trawler to increase its seaworthiness]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2018, no. 3-4 (42), pp. 36-43.
4. *Spravochnik po teorii korablya. Vol. 1. Gidromekhanika. Soprotivlenie dvizheniyu sudov. Sudovye dvizhiteli* [Handbook of ship theory. Vol. 1. Hydromechanics. Resistance to ship propulsion. Ship propulsion gear]. Pod redakciej Ya. I. Vojtkunskogo. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1985. 768 p.
5. Ivanov V. P. *Tekhniko-ekonomicheskie osnovy sozdaniya rybolovnyh sudov: uchebnik* [Technical and economic basis for building fishing vessels: textbook]. Kaliningrad, Izd-vo BGARF, 2010. 274 p.
6. Gajkovich A. I. *Teoriya proektirovaniya vodoizmeshchayushchih korablej i sudov: monografiya* [Theory of design of displacement ships and vessels: monograph]. Saint-Petersburg, Morintekh Publ., 2014. 872 p.

The article submitted to the editors 02.08.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Chureev Evgeniy Andreevich – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Shipbuilding; e.chureev@klgtu.ru.

Orlov Oleg Pavlovich – Russia, 196158, Saint-Petersburg; Krylov State Research Centre; Doctor of Technical Sciences, Professor; Leading Researcher of Department № 5; op_orlov@ksrc.ru.

Yakuta Irina Vladimirovna – Russia, 236029, Kaliningrad; Baltic State Academy of Fishing Fleet of Kaliningrad State Technical University; Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Navigation Safety; Ykutas@rambler.ru.

