

TRIM INFLUENCE ON WATER RESISTANCE TO MOVEMENT OF SMALL PASSENGER SHIP MODEL

К. М. Ushakov^{1,2}

¹ — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

² — Forss Tekhnologii, Ltd., St. Petersburg, Russian Federation

During the passenger ships operation, significant trim changes with a constant displacement due to the movement of passengers are possible. As a rule, in the design of same ships, model tests are not carried out, and the calculations of the propulsion are made by the prototype or using methods based on serial tests. Resistance curves, calculated in this way, correspond to trim on an even keel, which can lead to errors in determining the required power, the achievable speed and the required parameters of the propulsion system. To determine this influence in the experimental basin of the Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, the towing tests are carried out. Ship model has shape form and dimension ratios, typical for excursion ships of St. Petersburg: length to breadth ratio — 4.0, breadth to draft ratio — about 7.1, block coefficient — 0.57. The curves of the rest resistance coefficients are given for three sitting options — on an even keel, with trim to the bow and trim to the stern. The curves for the model on even keel and with trim to the stern almost coincide, and trim to the bow leads to an increase in the residual resistance coefficient by up to $1.0 \cdot 10^{-3}$. Tests are carried out in calm deep water conditions for Froude numbers from 0.14 to 0.35. It is shown that the effect of trim on resistance depends on the ship speed. When designing propulsion systems for small passenger ships, it is proposed to add an allowance to the values of the resistance coefficient in order to take into account possible trim changes.

Keywords: Ship, water resistance, model, towing test, rest resistance, trim.

For citation:

Ushakov, Konstantin M. "Trim influence on water resistance to movement of small passenger ship model." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.5 (2021): 723–729. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-5-723-729.

УДК 629.12:532.583.4

ВЛИЯНИЕ ДИФФЕРЕНТА НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОДЫ ДВИЖЕНИЮ МОДЕЛИ МАЛОГО ПАССАЖИРСКОГО СУДНА

К. М. Ушаков^{1,2}

¹ — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — ООО «Форсс технологии», Санкт-Петербург, Российская Федерация

В работе исследованы возможные изменения сопротивления воды движению малых пассажирских судов в процессе эксплуатации вследствие перемещения пассажиров. Отмечается, что при проектировании таких судов модельные испытания не проводятся, а расчеты ходкости выполняются по прототипу или с помощью методов, основанных на серийных испытаниях. Кривые буксировочного сопротивления, полученные таким образом, соответствуют посадке на ровный киль, что может привести к ошибкам в определении потребной мощности, достижимой скорости и требуемых параметров движительного комплекса. Для определения этого влияния в опытном бассейне Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова были выполнены испытания модели судна с обводами и соотношениями размерений, характерными для прогулочно-экскурсионных судов, эксплуатирующихся на реках и каналах Санкт-Петербурга: отношение длины к ширине — 4,00, ширины к осадке — около 7,10, коэффициент общей полноты — 0,57. Приведены экспериментально полученные кривые коэффициентов остаточного сопротивления для трех вариантов посадки: на ровный киль, с дифферентом на нос и с дифферентом на корму. Кривые для модели без дифферента и с дифферентом на корму практически совпадают, а дифферент на нос ведет к увеличению коэффициента остаточного сопротивления на величину до $1,0 \cdot 10^{-3}$. Испытания проводились в условиях тихой глубокой воды для чисел Фруда от 0,14 до 0,35.

Показано, что влияние дифферента на сопротивление зависит от скорости движения. Предложено при проектировании движительных комплексов малых пассажирских судов вносить надбавку к значениям коэффициента сопротивления с целью учета возможных изменений дифферента.

Ключевые слова: судно, ходкость, сопротивление, модельные испытания, остаточное сопротивление, посадка, дифферент.

Для цитирования:

Ушаков К. М. Влияние дифферента на сопротивление воды движению модели малого пассажирского судна / К. М. Ушаков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 5. — С. 723–729. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-5-723-729.

Введение (Introduction)

Размещение пассажиров на прогулочно-экскурсионных судах зависит от погодных и других условий и может значительно меняться даже в течение одного рейса, что влечет за собой изменение посадки судна. Изменение дифферента может привести к увеличению сопротивления воды движению судна. При этом движитель становится гидродинамически «тяжелым», поскольку в большинстве случаев проектные расчеты выполняются для посадки на ровный киль. Влияние дифферента на ходкость судов рассматривается во многих работах [1]–[7] и др. Показано, что влияние дифферента на ходкость значительно зависит от соотношений размерений и формы обводов (наличия бульба, плоского транца и т. п.).

Большая часть доступных исследований посвящена морским судам и судам смешанного плавания с характерными параметрами корпусов. При этом эксплуатационные изменения дифферента при неизменном водоизмещении для малых пассажирских судов также составляют значительную величину. Габаритная длина составляет от 15 до 25 м, ширина — 3,0–5,5 м. Большинство из них имеют класс «Р1,2А» Российского речного регистра, надстройка полуутоплена в корпус, машинное отделение расположено в корме. Пассажиры размещаются в надстройке и в кормовой части открытой палубы над машинным и румпельным отделениями. В качестве движителей в основном применяются водометы и открытые гребные винты фиксированного шага.

Целью данной работы является определение влияния дифферента на сопротивление воды движению модели судна с обводами и соотношениями размерений, характерными для прогулочно-экскурсионных судов, эксплуатирующихся на реках и каналах Санкт-Петербурга.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Исследования выполнялись с помощью испытаний модели в опытном бассейне ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова». Длина бассейна составляла 120 м, ширина — 6,0 м, глубина — 3,0 м. Бассейн оборудован самоходной буксировочной тележкой и комплектом измерительной аппаратуры. Длина модели составляла 2,00 м, ширина — 0,50 м, средняя осадка — 0,07 м, водоизмещение — 40 кг. Отношение длины к ширине при этом составило 7,0, ширины к осадке — 7,1. Коэффициент полноты водоизмещения равен 0,57. Обводы модели характерны для малых пассажирских судов. Ватерлинии в носу выпуклые, цилиндрическая вставка длиной около половины длины корпуса, в кормовой части два полутуннеля для размещения движительно-рулевого комплекса, килеватое днище. Модель была отрезана из пенополистирола, поверхность выровнена, покрыта гелькоутом и окрашена. Для обеспечения турбулентного обтекания модели в районе первого теоретического шпангоута, в соответствии с требованиями ITTC [8], был установлен проволочный турбулизатор диаметром 1 мм. В носовой и кормовой частях модели установлены отбойники для защиты модели от заливания. Фотография модели приведена на рис. 1.

Испытания проводились в диапазоне значений числа Фруда по длине:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL_{WL}}} \quad 0,15-0,35, \quad (1)$$

где V — скорость буксировки модели, м/с; L_{WL} — длина модели, м.



Рис. 1. Модель судна

Сопротивление определялось для трех значений дифферента: +0,025 м (на нос); 0,00 м (на ровный киль); -0,045 м (на корму). Варианты посадки выбирались исходя из предположения, что пассажировместимость натурного судна длиной около 20 м составляет 100 человек, которые располагаются полностью в надстройке, частично в надстройке и частично на палубе или полностью на палубе в корме судна. Плотность размещения (шесть человек на 1 м²) и масса одного пассажира (75 кг) принимались в соответствии с правилами Российского речного регистра¹.

Результаты (Results)

После обработки результатов испытаний по методу Фруда был определен коэффициент остаточного сопротивления корпуса C_R , рассчитываемый по формуле

$$C_R = C_m - C_{F_0}, \quad (2)$$

где $C_m = \frac{2R}{\rho V^2 S}$ — коэффициент полного сопротивления модели;

R — измеренная сила сопротивления воды движению модели, Н;

S — площадь смоченной поверхности модели, м²;

$\rho = 1000$ кг/м³ — массовая плотность воды;

$C_{F_0} = \frac{0,075}{(\lg(Re) - 2)^2}$ — коэффициент сопротивления эквивалентной гладкой пластины, рассчитанный для модели;

$Re = VL_{WL}/v_m$ — число Рейнольдса;

v_m — кинематическая вязкость воды в опытном бассейне, м²/с.

Фотография модели во время испытаний показана на рис. 2. Кривые зависимости коэффициента остаточного сопротивления от числа Фруда приведены на рис. 3.



Рис. 2. Фотография модели во время проведения испытаний
(посадка на ровный киль, $Fn = 0,23$)

¹ Правила классификации и постройки судов. М.: Российский речной регистр, 2021. С. 258.

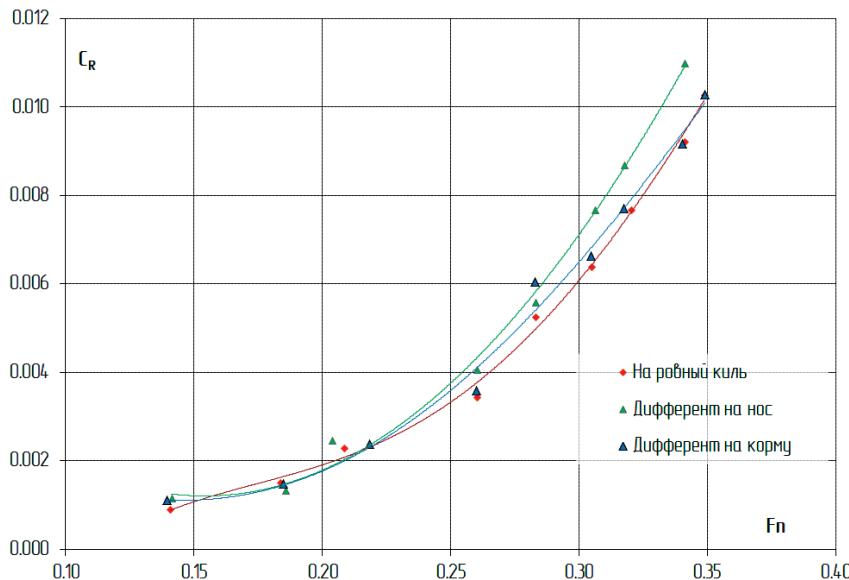


Рис. 3. Зависимости коэффициентов остаточного сопротивления модели от числа Фруда для различных вариантов дифферента

Условные обозначения:

точками показаны экспериментальные значения,
сплошными линиями — аппроксимации

Поскольку при изменении дифферента модели длина по ватерлинии менялась незначительно, числа Фруда всегда вычислялись по одной и той же длине $L_{WL} = 2,00$ м. Площадь смоченной поверхности изменялась в пределах нескольких процентов, однако этот фактор был учтен при вычислении коэффициента остаточного сопротивления.

Обсуждение (Discussion)

Анализ полученных данных показал, что на малых скоростях движения (до $Fn = 0,25$) влияние посадки на коэффициент остаточного сопротивления C_R незначительно и близко к погрешности измерений. При числе Фруда $Fn = 0,25\text{--}0,35$ разница между вариантами посадки на ровный киль и посадки с дифферентом на корму также остается несущественной. Коэффициент остаточного сопротивления для посадки с дифферентом на нос существенно выше, чем в других случаях — при числе Фруда $Fn = 0,30$ разница составляет $0,5 \cdot 10^{-3}$, при $Fn = 0,35$ достигает значения $1,0 \cdot 10^{-3}$. Такой характер поведения кривых хорошо согласуется с существующими представлениями о сопротивлении воды движению судов, поскольку при изменении дифферента центр величины смещается в сторону наклонения. При этом на больших скоростях смещение центра величины в корму играет положительную роль, поскольку при этом снижается волновое сопротивление [9]—[11].

На основании ранее изложенного можно предположить, что при увеличении скорости буксировки свыше $Fn = 0,35$ преимущество может иметь посадка с дифферентом на корму. Вопреки ожиданиям, увеличения сопротивления на малых скоростях при дифференте на корму вследствие увеличения осадки кормой и соответствующего увеличения замывания транца, эксперимент показал, что этот фактор не является существенным или компенсируется снижением других составляющих сопротивления.

В исследовании [1] приведены результаты физического и численного моделирования движения контейнеровоза KCS с различными дифферентами в диапазоне чисел Фруда: $Fn = 0,19\text{--}0,26$. Полное сопротивление воды движению при любом дифференте на корму оказалось выше, чем при посадке на ровный киль ли на нос. Согласно данным источника [5], существуют натурные наблюдения и теоретическое обоснование снижения сопротивления при дифференте на нос для судов смешанного «река—море» плавания за счет уменьшения площади смоченной поверхности и вихреобразования

в корме, а также увеличения волнообразующей длины. В рамках данного исследования первый фактор учитывался при вычислении коэффициента сопротивления, поскольку для каждого варианта посадки применялась своя площадь смоченной поверхности, несмотря на то, что разница между ними не превышала 3 %.

Существование второго фактора в статье [5] не было подтверждено экспериментальными данными или результатами натурных наблюдений. В данной работе вихреобразование в корме также не измерялось, однако дифферент на нос не показал преимущества во всем диапазоне скоростей движения модели. Дифферент на нос для испытанной модели также не увеличил волнообразующую длину, а наоборот, незначительно снизил ее за счет выхода из воды кормового подзора. Уменьшение этой длины и увеличение полноты носовой оконечности привело к увеличению волнового сопротивления. В работе [2], применительно к рыболовным судам, показано, что оптимальный с точки зрения ходкости вариант посадки соответствует посадке на ровный киль на расчетной скорости, т. е. с учетом ходового изменения дифферента. Наличие дифферента (как на нос, так и на корму) на ходу способствовало увеличению сопротивления. Аналогичные выводы сделаны авторами исследования [6] применительно к движению контейнеровоза KCS на мелководье. При проведении испытаний модели в данном исследовании ходовой дифферент не измерялся, а испытания проводились только для трех вариантов посадки.

Расчетные значения числа Фруда для рассматриваемых судов находятся в диапазоне 0,20–0,35. Для судов с обводами и соотношениями размерений, близких к обводам испытанной модели, при выполнении расчетов ходкости для учета значительных изменений дифферента можно рекомендовать дополнительно к надбавкам на шероховатость и выступающие части вносить в коэффициент сопротивления надбавку на изменение посадки. Необходимо отметить, что в рамках данного исследования были приняты относительно большие величины дифферента. Предполагается, что меньшие значения дифферента окажут меньшее влияние на ходкость.

Заключение (Conclusion)

Приведенные в настоящем исследовании данные позволяют сделать вывод о том, что изменения посадки, возможные при эксплуатации малых пассажирских судов, оказывают негативное влияние на величину буксировочного сопротивления практически во всем диапазоне расчетных скоростей. Дифферент на корму оказывает существенно меньшее влияние на величину коэффициента остаточного сопротивления, чем дифферент на нос. Для учета этого влияния при проектировании гребных винтов таких судов в случае невозможности проведения модельных испытаний предлагается вносить надбавку к расчетным значениям коэффициентов сопротивления. Величину надбавки предлагается принимать в диапазоне от $0,5 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-3}$, большие значения должны соответствовать большим числам Фруда. При выборе величины надбавки следует учитывать диапазон возможных дифферентов для конкретного судна, а также изменение площади смоченной поверхности при изменении дифферента. Поскольку во многих случаях дифферент на нос снижает эту площадь, необходимо определить наихудший вариант кривой буксировочного сопротивления и выполнить расчет применительно к этому варианту.

При выполнении расчетов ходкости необходимо иметь в виду, что изменение посадки может оказать влияние не только на величину буксировочного сопротивления на тихой воде, рассмотренную в данной статье, но и на коэффициенты взаимодействия гребных винтов с корпусом, а также дополнительное волновое сопротивление.

Автор выражает благодарность за поддержку исследования компаниям ООО «Форс технологи» и ООО «Нева Тревел Компани».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shivachev E. Trim influence on Kriso Container Ship (KCS): an experimental and numerical study / E. Shivachev, M. Khorasanchi, A. H. Day // International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering.—*

American Society of Mechanical Engineers, 2017.— Vol. 57731.— Pp. V07AT06A009. DOI: 10.1115/OMAE2017-61860.

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

3. Yang L. Numerical Analysis of Ship Hull Resistance Considered Trims / L. Yang, P. Zhu, Z. Qin // The Twenty-fourth International Ocean and Polar Engineering Conference.— OnePetro, 2014.

4. Islam H. Effect of trim on container ship resistance at different ship speeds and drafts / H. Islam, C. G. Soares // Ocean Engineering.— 2019.— Vol. 183.— Pp. 106–115. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.03.058.

5. Ершов А. А. Теоретические основы определения оптимального дифферента судов «река — море» / А. А. Ершов, В. В. Мищенко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология.— 2021.— № 3.— С. 40–51. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-3-40-51.

6. Elsherbiny K. An Experimental Investigation of the Trim Effect on the Behaviour of a Containership in Shallow Water / K. Elsherbiny, T. Tezdogan, M. Kotb, A. Incecik, S. Day // International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering.— American Society of Mechanical Engineers, 2019.— Vol. 58851.— Pp. V07B-T06A043. DOI: 10.1115/OMAE2019-95790.

7. Lyu X. On resistance reduction of a hull by trim optimization / X. Lyu, H. Tu, D. Xie, J. Sun // Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike.— 2018.— Vol. 69.— No. 1.— Pp. 1–13. DOI: 10.21278/brod69101.

8. ITTC Recommended procedures and guidelines [Электронный ресурс].— Режим доступа: https://ittc.info/media/9876/0_0.pdf (дата обращения: 20.09.2021).

9. Басин А. М. Гидродинамика судна / А. М. Басин, В. Н. Анфимов.— М.: Речной транспорт, 1961.— 684 с.

10. Бавин В. Ф. Ходкость и управляемость судов: учеб. / В. Ф. Бавин, В. И. Заиков, Л. Б. Сандлер, В. Г. Павленко; под ред. В. Г. Павленко.— М.: Транспорт, 1991.— 396 с.

11. Справочник по теории корабля: в трех томах / Под ред. Я. И. Войтунского.— Л.: Судостроение, 1985.— Т. 1: Гидромеханика. Сопротивление воды движению судов. Судовые движители.— 768 с.

REFERENCES

1. Shvachev, Emil, Mahdi Khorasanchi, and Alexander H. Day. “Trim influence on Kriso Container Ship (KCS): an experimental and numerical study.” *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. Vol. 57731. American Society of Mechanical Engineers, 2017. DOI: 10.1115/OMAE2017-61860.
2. Chureev, Evgeniy Andreevich, Oleg Pavlovich Orlov, and Irina Vladimirovna Yakuta. “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* 4 (2019): 30–38. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-4-30-38.
3. Yang, Linjia, Pengfei Zhu, and Zhiyong Qin. “Numerical Analysis of Ship Hull Resistance Considered Trims.” *The Twenty-fourth International Ocean and Polar Engineering Conference*. OnePetro, 2014.
4. Islam, Hafizul, and Carlos Guedes Soares. “Effect of trim on container ship resistance at different ship speeds and drafts.” *Ocean Engineering* 183 (2019): 106–115. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.03.058.
5. Ershov, Andrey Aleksandrovich, and Vadim Vyacheslavovich Mishenko. “Theoretical grounds for determining optimal trim of river-sea vessels.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 3 (2021): 40–51. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-3-40-51.
6. Elsherbiny, Khaled, Tahsin Tezdogan, Mohamed Kotb, Atilla Incecik, and Sandy Day. “An experimental investigation of the trim effect on the behaviour of a containership in shallow water.” *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. Vol. 58851. American Society of Mechanical Engineers, 2019. DOI: 10.1115/OMAE2019-95790.
7. Lyu, Xujian, Haiwen Tu, De Xie, and Jianglong Sun. “On resistance reduction of a hull by trim optimization.” *Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike* 69.1 (2018): 1–13. DOI: 10.21278/brod69101.
8. ITTC Recommended procedures and guidelines. Web. 20 Sept. 2021 <https://ittc.info/media/9876/0_0.pdf>.
9. Basin, A. M., and V. N. Anfimov. *Gidrodinamika sudna*. M.: Rechnoi transport, 1961.
10. Bavin, V. F., V. I. Zaikov, L. B. Sandler, and V. G. Pavlenko. *Khodkost' i upravlyayemost' sudov: Ucheb. dlya in-tov vod. transp.* Edited by V. G. Pavlenko. M.: Transport, 1991.
11. *Spravochnik po teorii korablya: V trekh tomakh. T. 1: Gidromekhanika. Soprotivlenie vody dvizheniyu sudov. Sudovye dvizhiteli.* Edited by Ya. I. Voitkunskii. L.: Sudostroenie, 1985.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ушаков Константин Михайлович —
старший преподаватель
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Двинская, 5/7
ООО «Форс технологий»
190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Бронницкая 44/117, лит. А, пом. 1Н
e-mail: lotinskey@yandex.ru,
kaf_shipbuilding@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ushakov, Konstantin M. —
Senior lecturer
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
Forss Tekhnologii, Ltd.
44/117 Bronnitskaya Str., St. Petersburg, 190013,
Russian Federation
e-mail: lotinskey@yandex.ru,
kaf_shipbuilding@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 20 сентября 2021 г.

Received: September 20, 2021.