



DOI: 10.24937/2542-2324-2022-4-402-85-100
УДК 629.5.022.22:629.5.018.712

А.В. Сверчков , М.В. Галушина 
ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ТРАНЦЕВОГО ИНТЕРЦЕПТОРА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ БУКСИРОВОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ БЫСТРОХОДНЫХ ВОДОИЗМЕЩАЮЩИХ СУДОВ

Объект и цель научной работы. Объектом исследования являются три модели однокорпусных быстроходных водоизмещающих судов различного назначения и модель быстроходного пассажирского катамарана. Цель работы состоит в экспериментальной проверке эффективности применения транцевого интерцептора для снижения буксировочного сопротивления.

Материалы и методы. Экспериментальные данные модельных испытаний, полученные в глубоководном опытном бассейне Крыловского центра.

Основные результаты. В процессе исследований для четырех моделей быстроходных водоизмещающих судов получены зависимости буксировочного сопротивления от величины выдвиг интерцептора и от угла статического дифферента.

Заключение. Проведенные эксперименты показали эффективность применения транцевого интерцептора для снижения буксировочного сопротивления однокорпусных и многокорпусных быстроходных водоизмещающих судов, эксплуатационные скорости которых соответствуют числам Фруда от 0,4 до 0,6. Применение транцевого интерцептора позволяет снизить буксировочное сопротивление на 4,5–6,5 %.

Ключевые слова: быстроходное водоизмещающее судно, быстроходный катамаран, транцевый интерцептор, модельные испытания, снижение буксировочного сопротивления.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

DOI: 10.24937/2542-2324-2022-4-402-85-100
UDC 629.5.022.22:629.5.018.712

A.V. Sverchkov , M.V. Galushina 
Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

TRANSOM INTERCEPTOR FOR TOWING RESISTANCE REDUCTION OF FAST DISPLACEMENT SHIPS

Object and purpose of research. This paper discusses three models of fast monohull displacement ships of various purpose and one model of fast passenger catamaran. The purpose of the study was to experimentally verify the efficiency of transom interceptor in towing resistance reduction.

Materials and methods. The study was based on the test results available with Krylov State Research Centre Deep-water Towing Tank.

Main results. This study was performed on four models and showed how their towing resistance depended on interceptor advance and static trim angle.

Для цитирования: Сверчков А.В., Галушина М.В. Применение транцевого интерцептора для снижения буксировочного сопротивления быстроходных водоизмещающих судов. Труды Крыловского государственного научного центра. 2022; 4(402): 85–100.

For citations: Sverchkov A.V., Galushina M.V. Transom interceptor for towing resistance reduction of fast displacement ships. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2022; 4(402): 85–100 (in Russian).

Conclusion. The tests have confirmed the efficiency of transom interceptor in towing resistance reduction of fast displacement monohulls and catamarans with operational speeds corresponding to Froude numbers 0,4–0,6. Transom interceptor reduces towing resistance by 4,5–6,5 %.

Keywords: fast displacement ship, fast catamaran, transom interceptor, model tests, towing resistance reduction.

The authors declare no conflicts of interest.

Введение

Introduction

Выдвижной транцевый интерцептор в последние десятилетия стал неотъемлемым атрибутом большинства глиссирующих катеров. В начале 2000-х гг. интерцепторы стали использоваться в качестве средства активного управления плавностью хода высокоскоростных паромов-катамаранов. Начиная с 2008 г. интерцепторы находят применение на гоночных парусных яхтах [1].

Транцевый интерцептор представляет собой выдвижаемую поперек набегающего потока пластину, позволяющую целенаправленно изменять локальный поток вблизи кормовой оконечности. При использовании на катерах основное назначение транцевого интерцептора – ускорение выхода на глиссирование за счет уменьшения угла дифферента, а также уменьшение угла крена при маневрировании и при ходе на прямом курсе в случае неравномерной загрузки. Автоматически управляемые интерцепторы позволяют повышать мореходные качества за счет снижения амплитуды килевой и бортовой качки.

Принцип действия транцевого интерцептора по физическому смыслу близок к работе транцевых плит и основан на повышении местного гидродинамического давления в результате торможения потока вблизи транца (рис. 1). Действующая в корме дополнительная подъемная сила создает

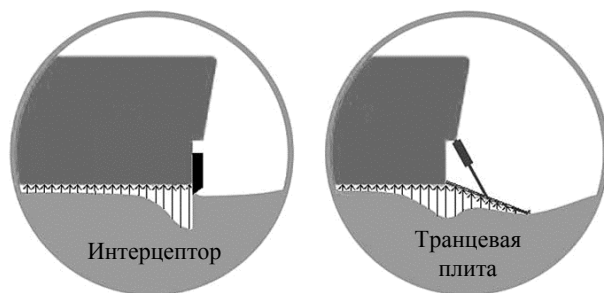


Рис. 1. Принцип работы транцевого интерцептора и транцевой плиты

Fig. 1. Operation principle of transom interceptor and transom plate

дифференцирующий момент на нос, который позволяет снизить ходовой дифферент и уменьшить заглубление транца, что приводит к выравниванию «горба» сопротивления. На малых скоростях и после выхода на глиссирование интерцептор убирается, т.к. перестает оказывать положительное влияние на сопротивление.

Применительно к водоизмещающим судам действие интерцептора может рассматриваться как аналог отгиба днища перед транцем [2, 3] или дактейла (ducktail – утиный хвост) [2–5]. Дактейл представляет собой установленную на транце отогнутую вниз площадку, удлиняющую корпус судна, и служит для увеличения длины эффективной ватерлинии и уменьшения площади замытого транца, вызывающего кормовую волну и след. В отличие от этих устройств интерцептор во многих случаях обладает большей эффективностью, чем обычный отгиб днища, и значительно проще, дешевле и надежнее дактейла, применяемого в основном на крупных круизных судах. Несмотря на то что дактейл позволяет снижать сопротивление не только на скорости полного хода, но и на малых скоростях, ограничение габаритной длины корпуса судна зачастую делает его установку невозможной.

Исследованию транцевых интерцепторов посвящено множество как экспериментальных [6–14], так и расчетных работ [15–30]. В нескольких статьях приводятся результаты сопоставления расчетных и экспериментальных данных [31–36]. Однако практически все они в качестве объекта исследования рассматривают исключительно глиссирующие катера. Единичные публикации приводят данные по применению интерцепторов на судах переходного режима движения [37] и на парусных яхтах [1]. Применение интерцептора как средства для улучшения маневренных характеристик представлено в работе [38]. Результаты численного исследования, показывающие возможность применения интерцепторов для повышения мореходных качеств глиссирующего катера, можно найти в публикации [39].

Следует еще раз подчеркнуть, что при движении на тихой воде транцевый интерцептор позволяет снизить сопротивление катера не на расчетном ре-

жиме, на который проектируются обводы корпуса, а только на режиме разгона, для которого глиссирующие обводы являются неоптимальными. Когда же катер достигает режима глиссирования, интерцепторы становятся излишними. Возникающий на них дифференцирующий момент прижимает нос катера к воде; в результате увеличивается смоченная длина корпуса, повышается волно- и брызгообразование в носовой оконечности, резко возрастает полное сопротивление. В исключительных случаях интерцептор применяется на высокоскоростных катерах, подверженных дельфинированию, чтобы предотвратить потерю продольной устойчивости [40].

В Крыловском центре выбор оптимальной высоты транцевого интерцептора глиссирующего катера является стандартным видом буксировочных испытаний, цель которых заключается в улучшении разгонных характеристик в районе «горба» сопротивления. Наряду со стандартными испытаниями проводятся исследования по применению интерцепторов для повышения устойчивости продольного движения глиссирующих катеров [41], а также экспериментальные и полунатурные исследования эффективности применения транцевых интерцепторов на судах с воздушной каверной [42].

Отдельного внимания заслуживают работы по применению транцевых интерцепторов совместно с днищевыми, расположенными в районе миделя. Такие схемы установлены, например, на катерах «Соболь» и «Мираж», спроектированных ЦМКБ «Алмаз» [43, 44]. Для улучшения управляемости

и остойчивости этих катеров в Крыловском центре были выполнены исследования гидродинамических характеристик судов с управляемыми носовыми и кормовыми интерцепторами [45–47]. Исследования похожей гидродинамической схемы начали проводить в Китае [48]. Применительно к глиссирующим катамаранам описание подобной схемы приведено в работе норвежских авторов [49].

Между тем экспериментальные исследования последних лет, выполненные в Крыловском центре, показали, что транцевые интерцепторы можно успешно применять не только на глиссирующих катерах, но и для снижения сопротивления быстроходных водоизмещающих судов, причем на их эксплуатационной скорости, для которой оптимизировались обводы корпуса.

Исследованные модели

Test models

В табл. 1 приведены основные характеристики трех моделей однокорпусных быстроходных водоизмещающих судов и одной модели быстроходного водоизмещающего катамарана, на которых применение транцевого интерцептора позволило получить снижение буксировочного сопротивления. Модели однокорпусных судов отличались не только формой погруженной части транца, но и его относительным заглублением. Числа Фруда, соответствующие эксплуатационным скоростям рассматриваемых судов, лежат в диапазоне от 0,4 до 0,6.

Таблица 1. Основные характеристики исследованных моделей

Table 1. Main parameters of test models

	Однокорпусные суда			Катамаран
	Модель 1	Модель 2	Модель 3	
Длина наибольшая $L_{ОЛ}$, м	4,422	3,010	5,268	4,257
Длина по ватерлинии L_{WL} , м	4,422	2,894	5,102	4,257
Ширина по ватерлинии B , м	1,178	0,594	1,002	1,229
Высота борта, м	0,600	0,290	0,589	0,513
Осадка T , м	0,314	0,170	0,316	0,185
Объемное водоизмещение ∇ , м ³	0,439	0,113	0,654	0,180
Заглубление транца в диаметральной плоскости T_{TP} , м	0,024	0,039	0,135	0,020
Относительное заглубление транца T_{TP}/T	0,078	0,229	0,427	0,108
Длина интерцептора l , м	1,178	0,540	1,002	2×0,221
Число Фруда, соответствующее эксплуатационной скорости F_n	0,29	0,58	0,40	0,59

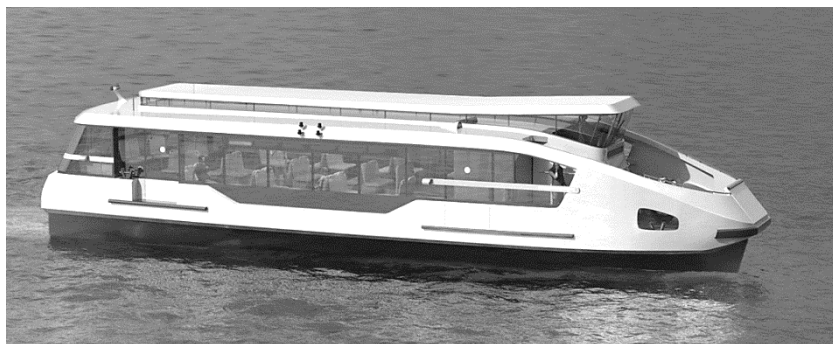


Рис. 2. 80-местное электрическое речное пассажирское судно Ecobus [51]

Fig. 2. Ecobus 80-seat passenger river-going electric vessel [51]

Модель 1 с наименьшим заглублением транца была изготовлена для исследования буксировочного сопротивления электрического речного пассажирского судна Ecobus, предназначенного для перевозки 80 пассажиров со скоростью 15 км/ч [50, 51]. Общий



Рис. 3. Транец модели 1 с установленным интерцептором

Fig. 3. Transom of Model 1 with interceptor



Рис. 4. Патрульный катер проекта 1496M1 [52]

Fig. 4. Patrol boat (Project 1496M1) [52]

вид судна, спроектированного ООО «НПК Морсвязьавтоматика», приведен на рис. 2.

Длина судна Ecobus составляет 21 м, ширина 6,2 м, высота надводного борта 1,3 м, осадка 1,4 м. Два главных электродвигателя обладают суммарной мощностью 268 кВт.

Фотография транца модели 1 с установленным регулируемым интерцептором приведена на рис. 3. Использование килей (гидродинамических шайб), ограничивающих интерцептор со стороны бортов, не предусмотрено. Верхняя часть интерцептора (узкая полоса) крепится к корпусу неподвижно и служит базой для установки заданного выдвигателя с помощью калиброванных прокладок. Такой же способ регулировки интерцептора использован и на других моделях, представленных в табл. 1.

Модель 2. Обводы модели 2 патрульного катера проекта 1496M1 характеризуются предельно острыми носовыми ватерлиниями и умеренно погруженным транцем [52, 53]. Катер имеет водоизмещение 131 т, длину 30,8 м, ширину 6,7 м, высоту борта 3,3 м, осадку 2,0 м. Скорость полного хода более 19 уз ($F_n = 0,58$). Фотография катера приведена на рис. 4.

На транце модели 2 установлен регулируемый интерцептор, ограниченный с двух сторон килем трапецевидной формы в проекции «Бок». Кили (гидродинамические шайбы) ограничивают зону повышенного давления со стороны бортов судна, позволяя получить тот же эффект при меньшем выдвиге интерцептора. Меньшая высота интерцептора обеспечивает более низкий прирост сопротивления на малых и средних скоростях. Фотографии кормовой части модели 2 с регулируемым транцевым интерцептором и ограничительными килем приведены на рис. 5.

Модель 3. На трехвальной модели 3, имеющей глубоко погруженный транец, интерцептор установлен по всей ширине транца, ограничительные



Рис. 5. Кормовая оконечность модели 2 с транцевым интерцептором и ограничительными килями

Fig. 5. Stern of Model 2 with transom interceptor and restricting keels



пластины не применялись. Фотография кормовой части модели 3 приведена на рис. 6.

Модель катамарана. Внешний вид 120-местного пассажирского катамарана «Экокруизер» [54–56] показан на рис. 7. Длина его корпуса 31,3 м, ширина 9,2 м, высота надводного борта 3,6 м, осадка 1,4 м, водоизмещение 62 т. Два главных электродвигателя мощностью по 400 кВт должны обеспечивать эксплуатационную скорость 20 уз ($F_n = 0,59$). Проект катамарана разработан ООО «НПК Морсвязьавтоматика».

Фотография кормовой части модели одиночного корпуса катамарана с установленным транцевым интерцептором приведена на рис. 8. Кили, ограничивающие интерцептор со стороны бортов, на модель не устанавливались.

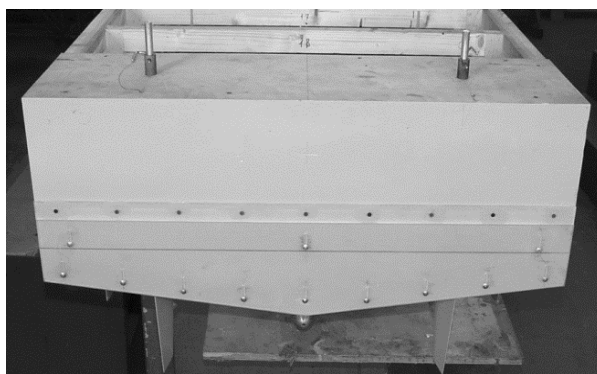


Рис. 6. Транец модели 3 с установленным интерцептором

Fig. 6. Transom of Model 3 with interceptor

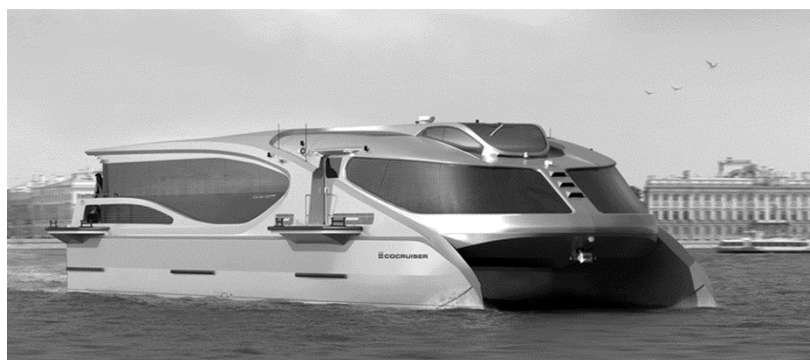


Рис. 7. 120-местный пассажирский катамаран «Экокруизер» [55]

Fig. 7. Ecocruiser 120-seat passenger catamaran [55]



Рис. 8. Транец одного корпуса модели катамарана с установленным интерцептором

Fig. 8. Transom of one catamaran hull with interceptor

Буксировочные испытания

Towing tests

Исследование влияния интерцептора на величину гидродинамического сопротивления включает цикл буксировочных испытаний. Испытания начинаются с получения базовой кривой сопротивления, относительно которой затем определяется эффективность интерцептора. Модель буксируется со всеми выступающими частями при ее положении на ровный киль без выдвига интерцептора.

Затем проводятся испытания, целью которых является определение оптимального выдвига интерцептора. При составлении их программы учитывается возможность изменения угла статического дифферента судна. Если проектирование находится уже на той стадии, когда все веса распределены и их перемещение по длине корпуса не представляется возможным, то интерцептор подбирается для статического положения корпуса на ровный киль. Если перемещение грузов или механизмов еще возможно, то оптимальный выдвиг интерцептора подбирается одновременно с варьированием угла статического дифферента.

В модельном эксперименте изменение дифферента осуществляется переносом балластировочных

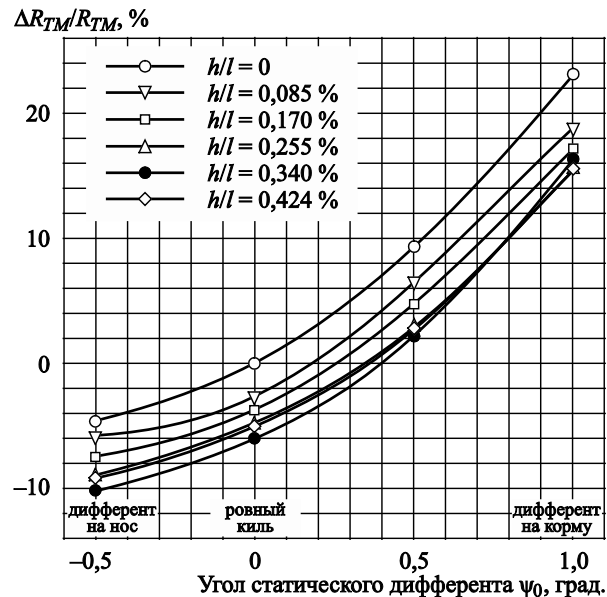


Рис. 9. Зависимость относительного снижения буксировочного сопротивления модели 1 от угла статического дифферента при нескольких значениях относительного выдвига интерцептора

Fig. 9. Relative reduction in towing resistance of Model 1 versus static trim angle for several relative advances of interceptor

грузов по длине корпуса, при неизменном водоизмещении модели. В ходе этих испытаний для нескольких выдвигов интерцептора последовательно варьируется угол статического дифферента. Оптимальное сочетание выдвига интерцептора и угла статического дифферента обеспечивает минимальное буксировочное сопротивление. Несмотря на то что второй способ является более трудоемким, эффективность его выше, чем в случае статического положения модели на ровный киль. В обоих случаях оптимальный выдвиг выбирается для скорости полного хода, вместе с контролем влияния интерцептора на величину сопротивления на других эксплуатационных скоростях.

В процессе буксировочных испытаний измеряются следующие величины: скорость движения буксировочной тележки V_M ; сопротивление модели R_{TM} ; динамический дифферент ψ ; всплытие/погружение модели ΔT_M . Положительное значение динамического дифферента соответствует дифференту на корму. Положительное значение динамического всплытия/погружения соответствует всплытию модели.

Модель 1. Необходимость минимизировать потребляемую судном электроэнергию побудила провести буксировочные испытания, целью которых стало получение на эксплуатационной скорости минимального буксировочного сопротивления. Поэтому в ходе проведения испытаний модели 1 определялась эффективность применения транцевого интерцептора вместе с варьированием угла статического дифферента. Величина относительного выдвига интерцептора h/l изменялась от 0 до 0,424 %. Угол статического дифферента менялся от $0,5^\circ$ на нос до $1,0^\circ$ на корму с шагом $0,5^\circ$.

Результаты испытаний в виде зависимости относительного снижения буксировочного сопротивления $\Delta R_{TM}/R_{TM}$ (R_{TM} – сопротивление модели на эксплуатационной скорости в положении на ровный киль без выдвига интерцептора) от угла статического дифферента ψ_0 при нескольких значениях относительного выдвига интерцептора h/l показаны на рис. 9. Кривая, полученная без применения интерцептора, позволяет оценить, какое влияние на сопротивление оказывает изменение статического дифферента, например, от перемещения пассажиров. Отрицательное значение отношения $\Delta R_{TM}/R_{TM}$ соответствует снижению сопротивления, положительное – увеличению.

Для скорости 15 км/ч оптимальным был выбран выдвиг интерцептора 0,34 % при статическом дифференте $0,5^\circ$ на нос. Из приведенного графика вид-

но, что дифферент $0,5^\circ$ на нос позволил снизить сопротивление модели на 4,4 %, а интерцептор дополнительно уменьшил сопротивление еще на 5,6 %. Суммарное снижение сопротивления составило 10 %. Вместе с тем испытания показали, что скопление пассажиров в кормовой части корпуса служит причиной значительного роста сопротивления. На рис. 10 приведена фотография обтекания транца модели на проектной скорости при оптимальном статическом дифференте и оптимальном выдвиге интерцептора. Обтекание кормовой оконечности плавное, без формирования волновой впадины за транцем.



Рис. 10. Обтекание транца модели 1
Fig. 10. Flow pattern around Model 1 transom

Модель 2. Оптимальный выдвиг интерцептора на модели 2 подбирался без изменения угла статического дифферента. Испытания проводились с относительными выдвигами интерцептора от 0 до 1,1 %. Результаты в виде зависимости относительного снижения сопротивления от относительного выдвиге интерцептора приведены на рис. 11. Оптимальным по величине буксировочного сопротивления и по углу ходового дифферента стал интерцептор с относительной высотой 0,56 %. Величина снижения буксировочного сопротивления модели составила 6 %.

снижения буксировочного сопротивления модели составила 6,4 %.

Модель катамарана. При испытаниях модели катамарана выдвиг интерцептора варьировался в диапазоне от 0 до 0,9 %, а угол статического дифферента от 0 до $1,5^\circ$ на корму с шагом $0,5^\circ$. Дифферент на нос не рассматривался, поскольку это приводит к увеличению сопротивления на скорости 20 уз и к оголению транца на экономической скорости. При обезразмеривании величины выдвиге принималась суммарная длина интерцепторов двух корпусов.

Модель 3. Испытания модели 3 проводились с выдвигами интерцептора от 0 до 0,8 % без изменения угла статического дифферента. Результаты испытаний приведены на рис. 12. Оптимальным по величине буксировочного сопротивления был признан интерцептор высотой 6 %. Величина

Согласно полученным данным для эксплуатационной скорости лучшим можно признать сочета-

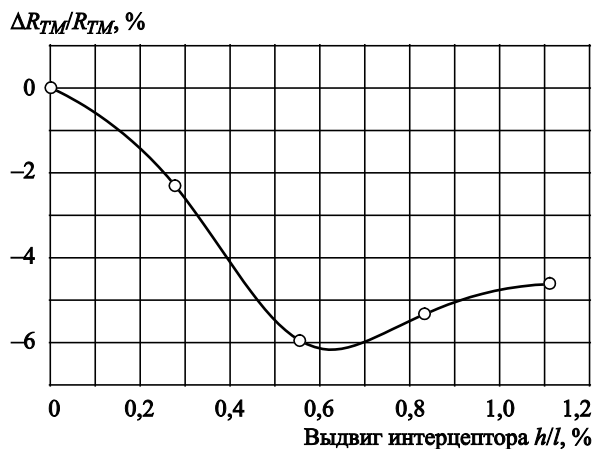


Рис. 11. Зависимость относительного снижения буксировочного сопротивления модели 2 от относительного выдвиге интерцептора

Fig. 11. Relative reduction in towing resistance of Model 2 versus relative interceptor advance

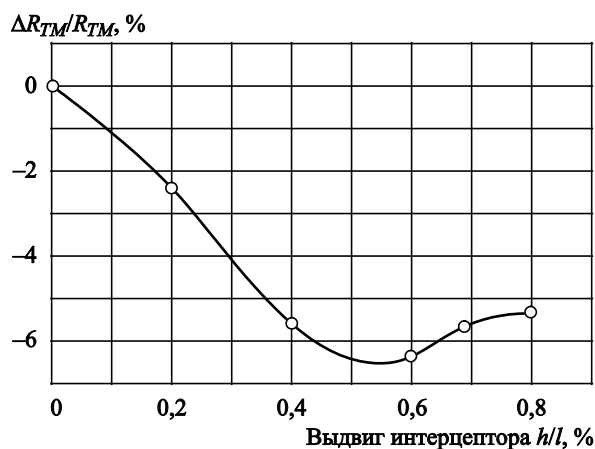


Рис. 12. Зависимость относительного снижения буксировочного сопротивления модели 3 от относительного выдвиге интерцептора

Fig. 12. Relative reduction in towing resistance of Model 3 versus relative interceptor advance

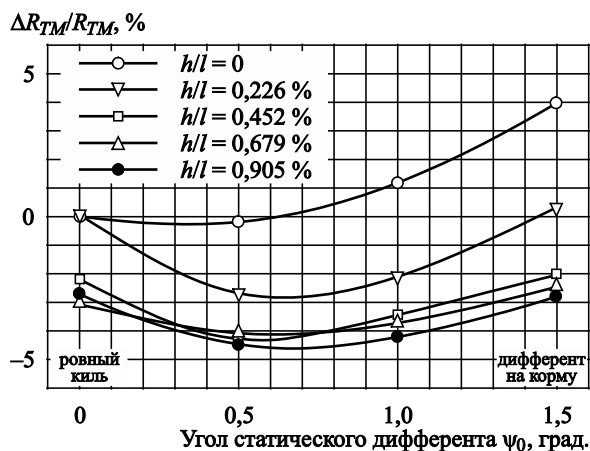


Рис. 13. Зависимость относительного снижения буксировочного сопротивления модели катамарана от угла статического дифферента при нескольких значениях относительного выдвиге интерцептора

Fig. 13. Relative reduction in towing resistance of catamaran model versus static trim angle for several relative advances of interceptor

ние выдвиге интерцептора 0,9 % и угла ходового дифферента 0,5° на корму (рис. 13). Буксировочное сопротивление модели снизилось на 4,5 %. На рис. 14 приведена фотография обтекания кормовой оконечности модели катамарана на эксплуатационной скорости с оптимальными значениями статического дифферента и выдвиге интерцептора. На экономической скорости 8 уз выдвиг интерцептора практически не оказал влияния на величину буксировочного сопротивления, но дифферент на корму повлиял негативно.

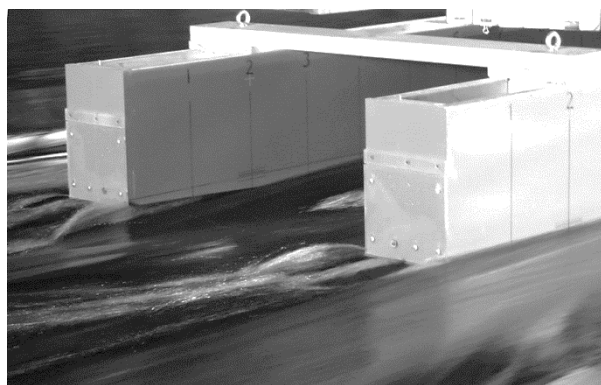


Рис. 14. Обтекание кормовой оконечности модели катамарана

Fig. 14. Flow pattern around catamaran model stern

Самоходные испытания

Self-propulsion tests

При работе с интерцептором важно понимание не только того, как он меняет величину буксировочного сопротивления, но и как он влияет на взаимодействие гребного винта с корпусом. С этой целью проведены сопоставительные самоходные испытания модели 3 без интерцептора и с оптимальным выдвигом интерцептора, подобранным в результате буксировочных испытаний. Величина выдвиге интерцептора при этом не варьировалась.

В ходе самоходных испытаний определялись величины коэффициентов взаимодействия гребных винтов с корпусом: коэффициент засасывания t , коэффициент попутного потока w_T , коэффициент влияния неравномерности потока на момент i_Q . По полученным данным рассчитывался коэффициент влияния корпуса η_H^* , являющийся одной из составляющих пропульсивного коэффициента. Ниже в табл. 2 приведено сопоставление коэффициентов взаимодействия для корпуса без интерцептора и с оптимальным выдвигом интерцептора.

Анализ полученных данных показал, что наличие интерцептора за счет уменьшения ходового дифферента и выравнивания корпуса во время движения оказывает положительное влияние на силу засасывания во всем диапазоне исследованных скоростей. Коэффициент засасывания снижается, что ведет к росту коэффициента влияния корпуса. Растет величина коэффициента попутного потока, связанная со снижением скорости потока в зоне расположения гребных винтов, что нивелируется уменьшением поступи и КПД гребного винта.

Негативное влияние интерцептор (пластина, стоящая поперек потока) оказывает на коэффициент влияния неравномерности потока на момент. В целом коэффициент влияния корпуса, включающий все три составляющие,

$$\eta_H^* = \frac{1-t}{1-w_T} \cdot \frac{1}{i_Q},$$

оказывается несколько выше. Иными словами, взаимодействие гребных винтов с корпусом становится более благоприятным, что ведет к улучшению пропульсивных качеств судна.

Данный результат относится только к конкретной компоновке движительного комплекса

Таблица 2. Сопоставление коэффициентов взаимодействия для корпуса без интерцептора и с оптимальным выдвигом интерцептора

Table 2. Comparison of interaction coefficient for the hull without the interceptor and with it (optimal advance)

Fn	Без интерцептора				С оптимальным выдвигом интерцептора			
	w_T	t	i_Q	η_H^*	w_T	t	i_Q	η_H^*
0,150	0,014	0,230	1,003	0,778	0,037	0,193	1,029	0,814
0,175	0,014	0,227	1,004	0,780	0,037	0,192	1,030	0,815
0,200	0,013	0,223	1,005	0,784	0,036	0,191	1,030	0,815
0,225	0,013	0,218	1,006	0,788	0,036	0,189	1,030	0,816
0,250	0,013	0,213	1,007	0,792	0,035	0,187	1,031	0,817
0,275	0,013	0,211	1,008	0,794	0,034	0,185	1,031	0,818
0,300	0,013	0,208	1,008	0,796	0,033	0,184	1,031	0,818
0,325	0,013	0,202	1,009	0,801	0,032	0,182	1,032	0,819
0,350	0,013	0,199	1,010	0,803	0,032	0,181	1,032	0,820
0,375	0,013	0,198	1,010	0,804	0,032	0,181	1,032	0,820
0,399	0,013	0,194	1,011	0,807	0,031	0,179	1,032	0,821
0,424	0,013	0,188	1,012	0,812	0,030	0,176	1,033	0,823
0,449	0,012	0,181	1,013	0,818	0,029	0,173	1,034	0,824
0,474	0,012	0,177	1,014	0,821	0,028	0,172	1,034	0,825
0,499	0,012	0,177	1,014	0,821	0,028	0,172	1,034	0,825

и может рассматриваться в качестве основания для рекомендации проведения контрольных самоходных испытаний моделей, оборудованных транцевым интерцептором.

Заключение

Conclusion

Недостаточно рациональный с точки зрения ходкости корпус быстроходного водоизмещающего судна далеко не всегда является просчетом главного конструктора. В большинстве случаев – это результат комплексного проектирования, на который оказало негативное влияние выполнение жестких требований, предъявляемых к величине внутренних объемов, а также к размещению машин, механизмов, грузов и различного судового оборудования. Именно для таких случаев интерцептор является последней возможностью на несколько процентов снизить величину буксировочного сопротивления при минимальных финансовых вложениях. Хотя возможны ситуации, когда интерцептор может дать положительный эффект даже на тщательно отработанном корпусе.

На быстроходных водоизмещающих судах применение интерцептора дает положительный эффект в ограниченном диапазоне скоростей вблизи скорости полного хода. Поскольку интерцептор обладает собственным сопротивлением и вне этого диапазона, например, на скорости экономического хода, он может, напротив, увеличивать общее сопротивление, поэтому его высоту следует выбирать минимально возможной. Для уменьшения высоты интерцептора при сохранении эффективности можно устанавливать гидродинамические шайбы в виде небольших килей, ограничивающих зону повышенного давления со стороны бортов судна.

Зона повышенного давления, формируемая перед интерцептором, не только изменяет ходовой дифферент, но и разгружает кормовую оконечность, приподнимая транец. По этой причине выигрыш от применения интерцептора может стать существенно больше, чем достижимый за счет изменения статического дифферента путем перемещения балласта в направлении носа. Может оказаться, что перенос центра тяжести в сторону кормы, приводящий к заглоблению транца и увеличивающий сопротивление без применения ин-



Рис. 15. Кормовая оконечность катера проекта 1496M1 во время спуска на воду [53]

Fig. 15. Stern of Project 1496M1 boat. Launching in progress [53]

терцептора, при использовании интерцептора, напротив, позволит получить дополнительное снижение сопротивления.

При пересчете результатов модельных испытаний на натурное судно эффективность применения интерцептора повышается. Это связано с тем, что интерцептор оказывает воздействие на остаточное сопротивление, доля которого в общем балансе сопротивления при переходе к натурному судну увеличивается.

Следует учитывать, что из-за разной относительной толщины пограничного слоя на модели и на натурном судне численное значение оптимального выдвиг интерцептора на натурном судне может отличаться от значения, полученного в эксперименте. Также на оптимальное значение выдвиг интерцептора могут оказывать влияние струи воды, отбрасываемые гребными винтами, работа которых не моделируется при буксировочных испытаниях. Поэтому в натуральных условиях необходимо уточнять оптимальный выдвиг интерцептора, варьируя его высоту в ходе сдаточных испытаний головного судна.

На рис. 15 приведена фотография кормовой оконечности катера проекта 1496M1, сделанная во время спуска на воду [56]. Хорошо виден установленный транцевый интерцептор с приводами, обеспечивающими возможность его регулировки по высоте. После уточнения оптимальной высоты интерцептора на головном судне установка нерегулируемых интерцепторов на следующих судах серии практически не требует дополнительных затрат.

Транцевый интерцептор повышает коэффициент влияния корпуса, т.е. взаимодействие гребных винтов с корпусом становится более благоприятным, что ведет к улучшению пропульсивных качеств судна. Данный экспериментальный результат является единичным, на его основании можно рекомендовать проведение контрольных самоходных испытаний моделей, оборудованных транцевым интерцептором.

В целом проведенные экспериментальные исследования показывают возможность применения транцевого интерцептора для снижения буксировочного сопротивления однокорпусных и многокорпусных быстроходных водоизмещающих судов, скорости которых соответствуют числам Фруда от 0,4 до 0,6. Величина снижения сопротивления от использования интерцептора может составлять до 6 %.

Список использованной литературы

1. Day A.H., Cooper C. An experimental study of interceptors for drag reduction on high-performance sailing yachts // *Ocean Engineering*. 2011. Vol. 38, № 8–9. P. 983–994. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2011.03.006.
2. Some practical design aspects of appendages for passenger vessels / H.S. Jang, H.J. Lee, Y.R. Joo [et al.] // *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. 2009. Vol. 1. P. 50–56. DOI: 10.2478/IJNAOE-2013-0006.
3. Richards J.S., Reinholz O. Hydrodynamic trends in ferry design // *Proceedings of 11th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2011)*. Red Hook : Curran, 2013. P. 382–386.
4. Kurniawati F.D., Utama I.K.A.P. An investigation into the use of ducktail at transom stern to reduce total ship resistance // *IPTEK Proceeding Series*. 2017. Vol. 2: The 2nd International Seminar on Science and Technology (ISST 2016). P. 181–185. DOI: 10.12962/j23546026.y2017i2.2338.
5. Hämäläinen R., Heerd J. van. Energy saving possibilities in twin or triple propeller cruise liners // *Proceedings of Third International Symposium on Marine Propulsors (SMP'13)*. Launceston : Australian Maritime College, [2013]. P. 55–68.
6. Sverre S. Experimental investigation of interceptor performance // *Proceedings of the 9th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2007)*. Wuxi : China Ship Scientific Research Center, 2007. P. 237–244.
7. Karimi M.H., Seif M.S., Abbaspoor M. An experimental study of interceptor's effectiveness on hydrodynamic performance of high-speed planing crafts // *Polish mari-*

- time research. 2013. Vol. 20, № 2. P. 21–29. DOI: 10.2478/pomr-2013-0013.
8. *Karimi M.H., Seif M.S., Abbaspour M.* A study on vertical motions of high-speed planing boats with automatically controlled stern interceptors in calm water and head waves // *Ships Offshore Structures*. 2015. Vol. 10, № 3. P. 335–348. DOI: 10.1080/17445302.2013.867647.
 9. *Luca F.De.* Experimental study on interceptor's effectiveness : Ph.D. thesis / *F.De Luca* ; Univ. degli studi Napoli "Federico II". Naples, 2011. 136 p. URL: http://www.fedoa.unina.it/8602/1/DELUCA_FABIO_24.pdf (Accessed: 20.07.2022).
 10. Optimal trim control of a high-speed craft by trim tabs/interceptors. Part I: pitch and surge coupled dynamic modelling using sea trial data / *M. Ertogan, P.A. Wilson, G.T. Tayyar, S. Ertugrul* // *Ocean Engineering*. 2017. Vol. 130. P. 300–309. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.12.007.
 11. *Avci A.G., Barlas B.* An experimental investigation of interceptors for a high-speed hull // *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. 2019. Vol. 11, № 1. P. 256–273. DOI: 10.1016/j.ijnaoe.2018.05.001.
 12. Analysis of the influence of an interceptor on the transom flow of a fast ship by pressure reconstruction from stereoscopic scanning PIV / *G. Jacobi, C.H. Thill, R. van't Veer, R.H.M. Huijsmans* // *Ocean Engineering*. 2019. Vol. 181. P. 281–292. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.02.062.
 13. An experimental study on vertical motion control of a high-speed planing vessel using a controllable interceptor in waves / *J.-Y. Park, H. Choi, J. Lee* [et al.] // *Ocean Engineering*. 2019. Vol. 173. P. 841–850. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.01.019.
 14. *Seok W., Park S.Y., Rhee S.H.* An experimental study on the stern bottom pressure distribution of a high-speed planing vessel with and without interceptors // *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. 2020. Vol. 12. P. 691–698. DOI: 10.1016/j.ijnaoe.2020.08.003.
 15. *Brizzolara S.* Hydrodynamic analysis of interceptors with CFD methods // *Proceedings of 7th Int. Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2003)*. Naples, 2003. Vol. 3. P. E.49-E.56 (8 p.).
 16. *Syamsundar S., Datla R.* Performance prediction of high-speed planing craft with interceptors using a variation of the Savitsky method // *Proceedings of First Chesapeake Power Boat Symposium*. Red Hook : Curran, 2008. P. 76–84.
 17. *Villa D., Brizzolara S.* A systematic CFD analysis of flaps / interceptors hydrodynamic performance // *Proceedings of 10th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2009)*. Athens, 2009. P. 1023–1038.
 18. *Ghassemi H., Mansouri M., Zaferanlouei S.* Interceptor hydrodynamic analysis for handling trim control problems in the high-speed crafts // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2011. Vol. 225, № 11. P. 2597–2618. DOI: 10.1177/0954406211406650.
 19. *Mansoori M., Fernandes A.C.* Hydrodynamics of the interceptor on a 2-D flat plate by CFD and experiments // *Journal of Hydrodynamics*. 2015. Vol. 27, № 6. P. 919–933. DOI: 10.1016/S1001-6058(15)60555-8.
 20. *Najafi A., Alimirzazadeh S., Seif M.S.* RANS simulation of interceptor effect on hydrodynamic coefficients of longitudinal equations of motion of planing catamarans // *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2015. Vol. 37, № 4. P. 1257–1275. DOI: 10.1007/s40430-014-0256-6.
 21. *Talaat W.M., Hafez K.A., Banawan A.A.* A CFD presentation and visualization for a new model that uses interceptors to harness hydro-energy at the wash of fast boats // *Ocean Engineering*. 2017. Vol. 130. P. 542–556. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.12.014.
 22. *Mansoori M., Fernandes A.C., Ghassemi H.* Interceptor design for optimum trim control and minimum resistance of planing boats // *Applied Ocean Research*. 2017. Vol. 69. P. 100–115. DOI: 10.1016/j.apor.2017.10.006.
 23. *Mansoori M., Fernandes A.C.* Interceptor and trim tab combination to prevent interceptor's unfit effects // *Ocean Engineering*. 2017. Vol. 134. P. 140–156. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.02.024.
 24. *Sakaki A., Ghassemi H., Keyvani S.* Evaluation of the hydrodynamic performance of planing boat with trim tab and interceptor and its optimization using genetic algorithm // *Journal of Marine Science and Application*. 2019. Vol. 18. P. 131–141. DOI: 10.1007/s11804-018-0040-6.
 25. *Jangam S., Subramanian V.A., Krishnankutty P.* Computational study on the hydrodynamic effects of interceptors fitted to transom of planing vessel // *Proceedings of the Fourth International Conference in Ocean Engineering (ICOE 2018)*. Singapore : Springer, 2018. P. 613–625. (Lecture Notes in Civil Engineering ; Vol. 22). DOI: 10.1007/978-981-13-3119-0_39.
 26. Numerical study on the effect of interceptor on the resistance and wake field of twin-screw ship / *K.W. Song, C.Y. Guo, J. Gong* [et al.] // *Journal of Shanghai Jiao Tong University*. 2019. Vol. 53, № 8. P. 957–964. DOI: 10.16183/j.cnki.jsjtu.2019.08.010.
 27. *Jangam S., Krishnankutty P., Subramanian V.A.* Numerical study on the hydrodynamic performance of integrated interceptor-flap fitted to the transom of a planing

- vessel // Proceedings of ASME 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. New York : American Society of Mechanical Engineers, 2018. Vol. 7A: Ocean Engineering. P. OMAE2018-78038.
28. Investigation on the influence induced by interceptor on the viscous flow field of deep-Vee vessel / *R. Deng, S.Y. Chen, T.C. Wu* [et al.] // Ocean Engineering. 2020. Vol. 196. P. 106735 (18 p.). DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.106735.
29. *Jangam S., Krishnankutty P., Subramanian V.A.* Numerical investigation on the hydrodynamic performance of high-speed planing hull with transom interceptor // Journal of Ships and Offshore Structures. 2020. Vol. 15, Supl. 1: Papers from 2019 Int. conference on Ships and Offshore Structures. P. S134-S142. DOI: 10.1080/17445302.2020.1738134.
30. *Jangam S., Krishnankutty P., Subramanian V.A.* Hydrodynamic performance of planing craft with interceptor-flap hybrid combination // Journal of Ocean Engineering and Marine Energy. 2021. Vol. 7. P. 421–438. DOI: 10.1007/s40722-021-00211-0.
31. *Luca F.de, Pensa C., Pranzitelli A.* Experimental and numerical investigation on interceptors' effectiveness // Proceedings of the 7th Conference on High-Performance Marine Vehicles (HIPER'10). Melbourne : Florida Inst. of Technology, 2010. P. 13–15.
32. *Luca F. de, Pensa C.* The prediction of the interceptor performances based on towing tank test data: Ship-model correlation and hull form influence // Developments in maritime transportation and exploitation of sea resources : proceedings of 15th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean (IMAM 2013). Boca Raton : CRC, [2014]. Vol. 1. P. 231–238.
33. *Mansoori M., Fernandes A.C.* Hydrodynamics of the interceptor analysis via both ultrareduced model test and dynamic computational fluid dynamics simulation // Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering. 2017. Vol. 139, № 2. P. 021101 (15 p.). DOI: 10.1115/1.4034615.
34. Influence of interceptor on deep-V ship's resistance performance / *C.Y. Guo, K.W. Song, J. Gong, T. Jing* // Journal of Harbin Engineering University. 2018. Vol. 39. P. 215–221. DOI: 10.11990/jheu.201704043.
35. Influence of interceptors, stern flaps, and their combinations on the hydrodynamic performance of a deep-Vee ship / *K. Song, C. Guo, J. Gong* [et al.] // Ocean Engineering. 2018. Vol. 170. P. 306–320. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2018.10.048.
36. Investigation of the influence of an interceptor on the inlet velocity distribution of a waterjet-propelled ship using SPIV technology and RANS simulation / *Song K., Guo C., Wang C.* [et al.] // Ships and Offshore Structures. 2019. Vol. 15, № 2. P. 138–152. DOI: 10.1080/17445302.2019.1592817.
37. Model tests of effects of interceptor on resistance of a semi-planing ship / *W. Wenjiang, Z. Zhi, N. Shaoling* [et al.] // Chinese Journal of Ship Research. 2012. Vol. 7, № 1. P. 18–22.
38. *Hafiz M.A., Sulisetyono A., Baharuddin A.* Study of the interceptors effect on ship manoeuvrability using the open free running test method // IOP conference series. Materials science and engineering. [Bristol], 2021. Vol. 1052: The 5th International Conference on Marine Technology (SENTA 2020). P. 012040 (11 p.). DOI: 10.1088/1757-899X/1052/1/012040.
39. *Jangam S., Prasanta S.* Numerical investigation of interceptor effect on sea keeping behaviour of planing hull advancing in regular head waves // Brodogradnja. 2021. Vol. 72, № 2. P. 73–92. DOI: 10.21278/brod72205.
40. *Mansoori M., Fernandes A.C.* The interceptor hydrodynamic analysis for controlling the porpoising instability in high speed crafts // Applied Ocean Research. 2016. Vol. 57. P. 40–51. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2016.02.006>.
41. *Афремов А.Ш., Смолина Н.А.* Исследование устойчивости продольного движения быстроходных судов // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 2011. Вып. 59(343). С. 5–25.
42. Экспериментальные и полунатурные исследования эффективности комбинированного применения транцевых интерцепторов на судах с днищевой каверной / *В.Г. Калюжный, М.Ю. Кумалагов, А.В. Пономарев, В.Г. Титов* // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 1996. Вып.2(286). С. 32–36.
43. *Мавлюдов М., Садовников Ю., Титов В.* Интерцепторы – средство управления гидродинамическими параметрами быстроходного судна // Катера и яхты. 2000. № 4(170). С. 48–50.
44. *Fridman G., Rozhdestvensky K., Shlyakhtenko A.* Theory and practice of application of the interceptors on high-speed ships // Proceedings of the 9th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2007). Wuxi : China Ship Scientific Research Center, 2007. P. 222–237.
45. *Афремов А.Ш., Синуцын Б.А., Смолина Н.А.* Управляемость и остойчивость судна, снабженного интерцепторами // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 1996. Вып. 2(286). С. 37–41.
46. Разработка и внедрение на натурном судне с управляемыми интерцепторами конструкций, обеспечивающих устойчивость движения и повышение ходовых качеств / *А.Ш. Афремов, И.Ш. Бомитейн,*

- А.П. Житнюк* [и др.] // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 2004. Вып. 17(301). С. 5–15.
47. *Афремов А.Ш.* Решение проблем в области динамики корабля как развитие идей академика А.Н. Крылова // Академик А.Н. Крылов. К 150-летию со дня рождения: сб. статей. Санкт-Петербург : Крыловский гос. науч. центр, 2013. С. 253–272.
48. Investigation on the lift force induced by the interceptor and its affecting factors: experimental study with captive model / *R. Deng, Z. Zhang, F. Luo* [et al.] // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2022. Vol. 10, № 2. P. 211–231. DOI: 10.3390/jmse10020211.
49. Performance of a planing catamaran with mid-mounted interceptors / *S. Steen, S.A. Alterskjær, A. Velgaard, I. Aasheim* // *Proceedings of 10th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2009)*. Athens, 2009. P. 521–534.
50. *Есобус.* Водный автобус-электроход // Электрические суда – чистый и комфортный город : буклет / Эмперимум. Санкт-Петербург, [2022]. С. 24–25.
51. *Есобус.* Водный автобус-электроход для круглогодичного использования в мегаполисах // *Emperium* : [сайт]. Санкт-Петербург, 2022. URL: <https://emperium.ru/esobus> (дата обращения: 20.07.2022).
52. Патрульный катер проекта 1496М1Э : буклет / Судостроительный завод «Вымпел» : [сайт]. Рыбинск, 2022. URL: <https://www.vympel-rybinsk.ru/psk-1496m1.html> (дата обращения: 20.07.2022).
53. В Рыбинске спущен на воду обновленный «Ламантин» // *Сделано у нас* : [сайт]. 2017. 03 окт. URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/98715> (дата обращения: 20.07.2022).
54. *Есочруйсер.* Скоростной катамаран класса река-море // Электрические суда – чистый и комфортный город : буклет / Эмперимум. Санкт-Петербург, [2022]. С. 4–7.
55. *Есочруйсер.* Скоростной катамаран класса река-море // *Emperium* : [сайт]. Санкт-Петербург, 2022. URL: <https://emperium.ru/esocruiser> (дата обращения: 20.07.2022).
56. *Сверчков А.В., Крыжевич Г.Б., Правдин А.Ю.* Экспериментальное исследование влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на ходовые качества волнорассекающего катамарана // *Морские интеллектуальные технологии*. 2021. № 2, т. 3. С. 13–19. DOI: 10.37220/MIT.2021.52.2.029.
2. Some practical design aspects of appendages for passenger vessels / *H.S. Jang, H.J. Lee, Y.R. Joo* [et al.] // *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. 2009. Vol. 1. P. 50–56. DOI: 10.2478/IJNAOE-2013-0006.
3. *Richards J.S., Reinholz O.* Hydrodynamic trends in ferry design // *Proceedings of 11th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2011)*. Red Hook : Curran, 2013. P. 382–386.
4. *Kurniawati F.D., Utama I.K.A.P.* An investigation into the use of ducktail at transom stern to reduce total ship resistance // *IPTEK Proceeding Series*. 2017. Vol. 2: The 2nd International Seminar on Science and Technology (ISST 2016). P. 181–185. DOI: 10.12962/j23546026.y2017i2.2338.
5. *Hämäläinen R., Heerd J. van.* Energy saving possibilities in twin or triple propeller cruise liners // *Proceedings of Third International Symposium on Marine Propulsors (SMP'13)*. Launceston : Australian Maritime College, [2013]. P. 55–68.
6. *Sverre S.* Experimental investigation of interceptor performance // *Proceedings of the 9th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2007)*. Wuxi : China Ship Scientific Research Center, 2007. P. 237–244.
7. *Karimi M.H., Seif M.S., Abbaspoor M.* An experimental study of interceptor's effectiveness on hydrodynamic performance of high-speed planing crafts // *Polish maritime research*. 2013. Vol. 20, № 2. P. 21–29. DOI: 10.2478/pomr-2013-0013.
8. *Karimi M.H., Seif M.S., Abbaspoor M.* A study on vertical motions of high-speed planing boats with automatically controlled stern interceptors in calm water and head waves // *Ships Offshore Structures*. 2015. Vol. 10, № 3. P. 335–348. DOI: 10.1080/17445302.2013.867647.
9. *Luca F.De.* Experimental study on interceptor's effectiveness : Ph.D. thesis / *F.De Luca* ; Univ. degli studi Napoli "Federico II". Naples, 2011. 136 p. URL: http://www.fedoa.unina.it/8602/1/DELUCA_FABIO_24.pdf (Accessed: 20.07.2022).
10. Optimal trim control of a high-speed craft by trim tabs/interceptors. Part I: pitch and surge coupled dynamic modelling using sea trial data / *M. Ertogan, P.A. Wilson, G.T. Tayyar, S. Ertugrul* // *Ocean Engineering*. 2017. Vol. 130. P. 300–309. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.12.007.
11. *Avci A.G., Barlas B.* An experimental investigation of interceptors for a high-speed hull // *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. 2019. Vol. 11, № 1. P. 256–273. DOI: 10.1016/j.ijnaoe.2018.05.001.

References

1. *Day A.H., Cooper C.* An experimental study of interceptors for drag reduction on high-performance sailing yachts // *Ocean Engineering*. 2011. Vol. 38, № 8–9. P. 983–994. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2011.03.006.

12. Analysis of the influence of an interceptor on the transom flow of a fast ship by pressure reconstruction from stereoscopic scanning PIV / *G. Jacobi, C.H. Thill, R. van't Veer, R.H.M Huijsmans* // *Ocean Engineering*. 2019. Vol. 181. P. 281–292. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.02.062.
13. An experimental study on vertical motion control of a high-speed planing vessel using a controllable interceptor in waves / *J.-Y. Park, H. Choi, J. Lee* [et al.] // *Ocean Engineering*. 2019. Vol. 173. P. 841–850. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.01.019.
14. *Seok W., Park S.Y., Rhee S.H.* An experimental study on the stern bottom pressure distribution of a high-speed planing vessel with and without interceptors // *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. 2020. Vol. 12. P. 691–698. DOI: 10.1016/j.ijnaoe.2020.08.003.
15. *Brizzolara S.* Hydrodynamic analysis of interceptors with CFD methods // *Proceedings of 7th Int. Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2003)*. Naples, 2003. Vol. 3. P. E.49–E.56 (8 p.).
16. *Syamsundar S., Datla R.* Performance prediction of high-speed planing craft with interceptors using a variation of the Savitsky method // *Proceedings of First Chesapeake Power Boat Symposium*. Red Hook : Curran, 2008. P. 76–84.
17. *Villa D., Brizzolara S.* A systematic CFD analysis of flaps / interceptors hydrodynamic performance // *Proceedings of 10th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2009)*. Athens, 2009. P. 1023–1038.
18. *Ghassemi H., Mansoori M., Zaferanlouei S.* Interceptor hydrodynamic analysis for handling trim control problems in the high-speed crafts // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2011. Vol. 225, № 11. P. 2597–2618. DOI: 10.1177/0954406211406650.
19. *Mansoori M., Fernandes A.C.* Hydrodynamics of the interceptor on a 2-D flat plate by CFD and experiments // *Journal of Hydrodynamics*. 2015. Vol. 27, № 6. P. 919–933. DOI: 10.1016/S1001-6058(15)60555-8.
20. *Najafi A., Alimirzazadeh S., Seif M.S.* RANS simulation of interceptor effect on hydrodynamic coefficients of longitudinal equations of motion of planing catamarans // *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2015. Vol. 37, № 4. P. 1257–1275. DOI: 10.1007/s40430-014-0256-6.
21. *Talaat W.M., Hafez K.A., Banawan A.A.* A CFD presentation and visualization for a new model that uses interceptors to harness hydro-energy at the wash of fast boats // *Ocean Engineering*. 2017. Vol. 130. P. 542–556. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.12.014.
22. *Mansoori M., Fernandes A.C., Ghassemi H.* Interceptor design for optimum trim control and minimum resistance of planing boats // *Applied Ocean Research*. 2017. Vol. 69. P. 100–115. DOI: 10.1016/j.apor.2017.10.006.
23. *Mansoori M., Fernandes A.C.* Interceptor and trim tab combination to prevent interceptor's unfit effects // *Ocean Engineering*. 2017. Vol. 134. P. 140–156. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.02.024.
24. *Sakaki A., Ghassemi H., Keyvani S.* Evaluation of the hydrodynamic performance of planing boat with trim tab and interceptor and its optimization using genetic algorithm // *Journal of Marine Science and Application*. 2019. Vol. 18. P. 131–141. DOI: 10.1007/s11804-018-0040-6.
25. *Jangam S., Subramanian V.A., Krishnankutty P.* Computational study on the hydrodynamic effects of interceptors fitted to transom of planing vessel // *Proceedings of the Fourth International Conference in Ocean Engineering (ICOE 2018)*. Singapore : Springer, 2018. P. 613–625. (Lecture Notes in Civil Engineering ; Vol. 22). DOI: 10.1007/978-981-13-3119-0_39.
26. Numerical study on the effect of interceptor on the resistance and wake field of twin-screw ship / *K.W. Song, C.Y. Guo, J. Gong* [et al.] // *Journal of Shanghai Jiao Tong University*. 2019. Vol. 53, № 8. P. 957–964. DOI: 10.16183/j.cnki.jsjtu.2019.08.010.
27. *Jangam S., Krishnankutty P., Subramanian V.A.* Numerical study on the hydrodynamic performance of integrated interceptor-flap fitted to the transom of a planing vessel // *Proceedings of ASME 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. New York : American Society of Mechanical Engineers, 2018. Vol. 7A: Ocean Engineering. P. OMAE2018-78038.
28. Investigation on the influence induced by interceptor on the viscous flow field of deep-Vee vessel / *R. Deng, S.Y. Chen, T.C. Wu* [et al.] // *Ocean Engineering*. 2020. Vol. 196. P. 106735 (18 p.). DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.106735.
29. *Jangam S., Krishnankutty P., Subramanian V.A.* Numerical investigation on the hydrodynamic performance of high-speed planing hull with transom interceptor // *Journal of Ships and Offshore Structures*. 2020. Vol. 15, Supl. 1: Papers from 2019 Int. conference on Ships and Offshore Structures. P. S134–S142. DOI: 10.1080/17445302.2020.1738134.
30. *Jangam S., Krishnankutty P., Subramanian V.A.* Hydrodynamic performance of planing craft with interceptor-flap hybrid combination // *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*. 2021. Vol. 7. P. 421–438. DOI: 10.1007/s40722-021-00211-0.

31. *Luca F. de, Pensa C., Pranzitelli A.* Experimental and numerical investigation on interceptors' effectiveness // Proceedings of the 7th Conference on High-Performance Marine Vehicles (HIPER'10). Melbourne : Florida Inst. of Technology, 2010. P. 13–15.
32. *Luca F. de, Pensa C.* The prediction of the interceptor performances based on towing tank test data: Ship-model correlation and hull form influence // Developments in maritime transportation and exploitation of sea resources : proceedings of 15th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean (IMAM 2013). Boca Raton : CRC, [2014]. Vol. 1. P. 231–238.
33. *Mansoori M., Fernandes A.C.* Hydrodynamics of the interceptor analysis via both ultrareduced model test and dynamic computational fluid dynamics simulation // Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering. 2017. Vol. 139, № 2. P. 021101 (15 p.). DOI: 10.1115/1.4034615.
34. Influence of interceptor on deep-V ship's resistance performance / *C.Y. Guo, K.W. Song, J. Gong, T. Jing* // Journal of Harbin Engineering University. 2018. Vol. 39. P. 215–221. DOI: 10.11990/jheu.201704043.
35. Influence of interceptors, stern flaps, and their combinations on the hydrodynamic performance of a deep-Vee ship / *K. Song, C. Guo, J. Gong* [et al.] // Ocean Engineering. 2018. Vol. 170. P. 306–320. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2018.10.048.
36. Investigation of the influence of an interceptor on the inlet velocity distribution of a waterjet-propelled ship using SPIV technology and RANS simulation / *Song K., Guo C., Wang C.* [et al.] // Ships and Offshore Structures. 2019. Vol. 15, № 2. P. 138–152. DOI: 10.1080/17445302.2019.1592817.
37. Model tests of effects of interceptor on resistance of a semi-planing ship / *W. Wenjiang, Z. Zhi, N. Shaoling* [et al.] // Chinese Journal of Ship Research. 2012. Vol. 7, № 1. P. 18–22.
38. *Hafiz M.A., Sulisetyono A., Baharuddin A.* Study of the interceptors effect on ship manoeuvrability using the open free running test method // IOP conference series. Materials science and engineering. [Bristol], 2021. Vol. 1052: The 5th International Conference on Marine Technology (SENTA 2020). P. 012040 (11 p.). DOI: 10.1088/1757-899X/1052/1/012040.
39. *Jangam S., Prasanta S.* Numerical investigation of interceptor effect on sea keeping behaviour of planing hull advancing in regular head waves // Brodogradnja. 2021. Vol. 72, № 2. P. 73–92. DOI: 10.21278/brod72205.
40. *Mansoori M., Fernandes A.C.* The interceptor hydrodynamic analysis for controlling the porpoising instability in high speed crafts // Applied Ocean Research. 2016. Vol. 57. P. 40–51. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2016.02.006>.
41. *Afremov A.Sh., Smolina N.A.* Investigation of stability of fast ships longitudinal movement // Transactions of Krylov State Research Centre. 2011. Vol. 59(343). C. 5–25 (in Russian).
42. Experimental and semi-realistic studies of the effectiveness of the combined use of transom interceptors on ships with a bottomed cavity / *V.G. Kalyuzhny, M.Yu. Kumalagov, A.V. Ponomarev, V.G. Titov* // Transactions of Krylov Shipbuilding Research Institute. 1996. Vol. 2(286). P. 32–36 (in Russian).
43. *Mavlyudov M., Sadovnikov Yu., Titov V.* Interceptors as the means of hydrodynamic parameters of a high-speed vessel control // Boats and Yachts. 2000. No. 4(170). P. 48–50 (in Russian).
44. *Fridman G., Rozhdestvensky K., Shlyakhtenko A.* Theory and practice of application of the interceptors on high-speed ships // Proceedings of the 9th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2007). Wuxi : China Ship Scientific Research Center, 2007. P. 222–237.
45. *Afremov A.Sh., Synitsin B.A., Smolina N.A.* Maneuverability and stability of vessel with interceptors // Transactions of Krylov Shipbuilding Research Institute. 1996. Vol. 2(286). P. 37–41 (in Russian).
46. Development and implementation of structures providing movement stability and performance improvement on a full-scale vessel with controlled interceptors / *A.Sh. Afremov, I.Sh. Bomstein, A.P. Zhitnyuk* [et al.] // Transactions of Krylov Shipbuilding Research Institute. 2004. Vol. 17(301). P. 5–15 (in Russian).
47. *Afremov A.Sh.* Solving problems in the field of ship dynamics as the development of the ideas of academician A.N. Krylov // Academician A.N. Krylov. To the 150th anniversary of birth: collection of articles. St. Petersburg : Krylov State Research Center, 2013. P. 253–272 (in Russian).
48. Investigation on the lift force induced by the interceptor and its affecting factors: experimental study with captive model / *R. Deng, Z. Zhang, F. Luo* [et al.] // Journal of Marine Science and Engineering. 2022. Vol. 10, № 2. P. 211–231. DOI: 10.3390/jmse10020211.
49. Performance of a planing catamaran with mid-mounted interceptors / *S. Steen, S.A. Alterskjær, A. Velgaard, I. Aasheim* // Proceedings of 10th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2009). Athens, 2009. P. 521–534.
50. Ecobus. Electric propulsion waterbus // Electric ships make city clean and comfortable : brochure / Imperium. St. Petersburg, [2022]. P. 24–25 (in Russian).
51. Ecobus. Electric propulsion waterbus for year-round exploitation in megacities // Imperium : [site].

- St. Petersburg, 2022. URL: <https://emperium.ru/ecobus> (Accessed: 20.07.2022) (*in Russian*).
52. Patrol boat of project 1496M1E : brochure / Vympel Shipyard : [site]. Rybinsk, 2022. URL: <https://www.vympel-rybinsk.ru/psk-1496m1.html> (Accessed: 20.07.2022) (*in Russian*).
53. The updated “Manatee” was launched in Rybinsk // Made with Us : [site]. 2017. 03 Oct. URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/98715> (Accessed: 20.07.2022) (*in Russian*).
54. Ecocruiser. High-speed sea-river catamaran // Electric ships make city clean and comfortable : brochure / Emperium. St. Petersburg, [2022]. P. 4–7 (*in Russian*).
55. Ecocruiser. High-speed sea-river catamaran // Emperium : [site]. St. Petersburg, 2022. URL: <https://emperium.ru/ecocruiser> (Accessed: 20.07.2022) (*in Russian*).
56. Sverchkov A.V., Kryzhevich G.B., Pravdin A.Yu. Experimental investigation of structural and operational factor effects on speed performance of wave cleaving catamarans // Marine intellectual technologies. 2021. No. 2, vol. 3. P. 13–19. DOI: 10.37220/MIT.2021.52.2.029 (*in Russian*).

Сведения об авторах

Сверчков Андрей Владимирович, к.т.н., начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 748-63-26. E-mail: ksri@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-3117-9042>.

Галушина Маргарита Валерьевна, старший научный сотрудник ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. E-mail: margo@smtu.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4258-1486>.

About the authors

Andrey V. Sverchkov, Cand. Sci. (Eng.), Head of Sector of Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoe sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 748-63-26. E-mail: ksri@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-3117-9042>.

Margarita V. Galushina, Senior Researcher of Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoe sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. E-mail: margo@smtu.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4258-1486>.

Поступила / Received: 19.07.22
Принята в печать / Accepted: 07.10.22
© Сверчков А.В., Галушина М.В., 2022