

УДК 629.122

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НОСОВОЙ ОКОНЕЧНОСТИ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ КАТАМАРАНОВ

Ушаков Константин Михайлович^{1,2}, доцент кафедры Судостроения и энергетических установок; ведущий инженер конструктор

e-mail: ushakovm@gumrf.ru

Саченко Александра Григорьевна¹, магистрант

e-mail: Sachenko0501@mail.ru

¹ Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

² ООО «Форсс Технологии», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье рассмотрено влияние конструктивных элементов носовой оконечности на гидродинамическую эффективность высокоскоростных катамаранов. Проведён обзор современных решений, включая бульбы, подводные крылья и носовые туннельные подруливающие устройства. Проанализированы их основные функции и влияние на сопротивление движения и ходкость судна. Показано, что эффективность применения элементов зависит от режима движения и особенностей их конструктивного исполнения. Сделан вывод о целесообразности комплексного учёта данных решений при проектировании катамаранов.

Ключевые слова: высокоскоростной катамаран, гидродинамическая эффективность, носовая оконечность, бульб, подводные крылья, туннельные подруливающие устройства.

INFLUENCE OF BOW STRUCTURAL ELEMENTS ON THE HYDRODYNAMIC EFFICIENCY OF HIGH-SPEED CATAMARANS

Konstantin M. Ushakov^{1,2}, Associate Professor of the Department of Shipbuilding and Power Plants; leading engineer

e-mail: ushakovm@gumrf.ru

Alexandra G. Sachenko², Master's Degree student

e-mail: Sachenko0501@mail.ru

¹ Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, Russia

² LLC "Forss Technology", Saint Petersburg, Russia

Abstract. The article examines the influence of bow structural elements on the hydrodynamic efficiency of high-speed catamarans. A review of modern solutions, including bulbous bows, hydrofoils, and bow tunnel thrusters, is presented. Their main functions and their impact on ship resistance and performance are analyzed. It is shown that the effectiveness of these elements depends

on the operating regime and their design features. It is concluded that a comprehensive consideration of these solutions is advisable in the design of catamarans.

Keywords: high-speed catamaran, hydrodynamic efficiency, bow, bulbous bow, hydrofoils, tunnel thrusters.

В последние десятилетия развитие высокоскоростных судов сопровождается повышением требований к снижению сопротивления движения и улучшению их эксплуатационных характеристик. Особое внимание уделяется катамаранам, так как разнесение двух корпусов и значительная ширина палуб позволяют обеспечить практически любую необходимую начальную поперечную остойчивость, а большое относительное удлинение корпусов даёт энергетические преимущества при достаточно высоких скоростях хода [1]. Носовая оконечность играет ключевую роль в формировании волновой системы судна и определяет характер распределения давления по корпусу. При высоких скоростях движения влияние носовой части существенно возрастает, поскольку увеличивается доля волнового сопротивления в общем сопротивлении судна [2]. В связи с этим оптимизация конструктивных элементов носовой оконечности является одной из важнейших задач при проектировании высокоскоростных катамаранов.

Одним из наиболее распространённых решений для улучшения гидродинамических показателей является применение бульбов. Бульб представляет собой обтекаемый гидродинамический элемент подводной части носовой оконечности корпуса судна заданной геометрической формы. Бульб формирует собственную волновую систему, которая частично компенсирует носовую волну корпуса, снижая суммарное волновое сопротивление. Достижимый при этом выигрыш в сопротивлении зависит от целого ряда параметров — прежде всего от скорости хода, длины набегающей волны и геометрических соотношений корпуса. Если размеры или положение бульба подобраны неудачно, его установка может не дать ожидаемого снижения сопротивления, а в отдельных случаях даже привести к его росту [3]. Для катамаранов этот вопрос стоит особенно остро: волновые системы двух корпусов накладываются между собой, и общая гидродинамическая картина оказывается заметно сложнее, чем у однокорпусных судов.

Не менее значимым элементом, влияющим на гидродинамическую эффективность, являются подводные крылья. С их помощью корпус удаётся приподнять над свободной поверхностью, что приводит к уменьшению осадки и сокращению смоченной площади, а вместе с тем — и к снижению сопротивления трения [4]. Подъёмная сила на крыле формируется за счёт разности давлений на нижней и верхней поверхностях профиля. Использование носовых крыльев способствует снижению сопротивления и повышению эффективности на переходных режимах движения, в первую очередь при выходе судна на режим глиссирования. Вместе с тем при высоких скоростях на профиле возможно возникновение кавитации, что снижает эффективность крыльев и сопровождается ростом вибраций. Конструктивная сложность и повышенные требования к прочности также ограничивают широкое применение данного решения. В отечественной практике распространены две основные схемы носовых крыльев — полностью погружённое Т-образное крыло и пересекающее свободную поверхность V-образное крыло. Первое обеспечивает высокое гидродинамическое качество и стабильность характеристик, но требует систем автоматической стабилизации; второе обладает естественной устойчивостью за счёт изменения смоченной площади, однако уступает первому по гидродинамическому качеству.

Особое место среди конструктивных элементов носовой оконечности занимают туннельные подруливающие устройства. Они представляют собой поперечные каналы в



носовой части корпуса, внутри которых размещаются гребные винты, обеспечивающие поперечную тягу [5]. Основным назначением таких устройств является повышение манёвренности судна при малых скоростях и в ограниченных акваториях. С гидродинамической точки зрения наличие туннелей нарушает естественное обтекание корпуса и в большинстве случаев вызывает прирост сопротивления, обусловленный местными возмущениями потока [6]. Снижение указанного негативного эффекта достигается за счёт тщательной проработки формы входных и выходных отверстий туннелей. Существенное влияние на ходовые характеристики оказывают геометрия входных кромок и наличие защитных решёток: острые кромки провоцируют локальный срыв пограничного слоя и образование вихревых зон, что напрямую отражается на величине сопротивления на ходовых режимах. Среди современных методов проектирования ведущая роль принадлежит вычислительной гидродинамике (CFD): её применение позволяет провести детальный анализ обтекания корпуса и количественно оценить вклад различных конструктивных решений в сопротивление и общую ходкость судна [7]. Это даёт возможность уже на этапе проектирования обоснованно выбирать наиболее эффективные комбинации элементов носовой оконечности.

Эффективность каждого из рассмотренных элементов определяется не только его геометрией, но и условиями, в которых судну предстоит работать. Для пассажирских судов, работающих на фиксированных маршрутах, целесообразно применение бульбов, оптимизированных под конкретную скорость, а для портовых и вспомогательных судов наиболее значимым элементом носовой оконечности оказываются туннельные подруливающие устройства, обеспечивающие требуемое качество маневрирования в стеснённых акваториях.

Применительно к внутренним водным путям, для которых характерны ограниченные глубины, на первое место выходит многорежимность катамарана. Носовой оконечности в таких условиях должна обеспечивать требуемые ходовые качества как на крейсерской скорости в основной части маршрута, так и при манёврах в портах и на шлюзованных участках. В связи с этим появляется возможность применения гибридных компоновок — например, сочетание бульба умеренной длины с убирающимися носовыми крыльями, которые позволяют изменять соотношение волнового сопротивления и сопротивления трения в зависимости от режима эксплуатации. Также эксплуатация судов на мелководье сопровождается существенным изменением гидродинамической картины обтекания корпуса, и определяющую роль здесь начинает играть влияние ограниченной глубины на формирование потоков вблизи корпуса и связанное с ним распределение давлений.

При анализе движения судна на ограниченных глубинах важно учитывать эффект гидродинамического проседания, который заметно усиливается с ростом скорости хода. В его основе лежит перераспределение давления вокруг корпуса и ускорение потока как под днищем, так и в узком пространстве между корпусами. Падение гидродинамического давления приводит к увеличению осадки судна и изменению ходового дифферента, что в совокупности ухудшает условия обтекания и закономерно повышает общее сопротивление движению. У многокорпусных судов это явление значительно выражено вследствие взаимодействия потоков под каждым из корпусов и в межкорпусном канале. Соответственно меняются и расчётные режимы работы носовых элементов, что требуется учитывать как при выборе их формы, так и при назначении допустимых скоростей хода на мелководных участках.

Проектирование носовой оконечности высокоскоростного катамарана относится к числу многокритериальных задач, требующих одновременного учёта гидродинамических, эксплуатационных и конструктивных факторов. Только комплексный подход, опирающийся на анализ взаимного влияния отдельных элементов корпуса, позволяет



приблизиться к максимально достижимой эффективности судна как единого технического объекта.

В заключение можно отметить, что конструктивные элементы носовой оконечности существенно влияют на гидродинамическую эффективность высокоскоростных катамаранов. Бульбы способствуют снижению волновой составляющей сопротивления, подводные крылья позволяют уменьшить сопротивление трения и поднять достижимую скорость хода, а туннельные подруливающие устройства отвечают за маневренные качества судна [8]. Вместе с тем эффективность каждого из этих решений существенно зависит от режима движения и от особенностей его конструктивного исполнения. По этой причине при проектировании катамаранов необходимо оценивать совместное действие всех элементов носовой оконечности и проводить комплексные расчётно-экспериментальные исследования, направленные на выбор оптимальных проектных решений.

Список литературы:

1. Дубровский В. А. Морские многокорпусные суда (вопросы исследования, проектирования и постройки) / В. А. Дубровский. — Л.: Судостроение, 1988. — 272 с.
2. Войткунский Я. И. Сопротивление движению судов: учебник для вузов / Я. И. Войткунский. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Судостроение, 1988. — 286 с.
3. Molland A. F. Ship Resistance and Propulsion / A. F. Molland, S. R. Turnock, D. A. Hudson. — Cambridge : Cambridge University Press, 2011. — 568 p.
4. Hoppe K. G. W. Recent applications of hydrofoil-supported-catamarans / K. G. W. Hoppe // Fast Ferry International. — 2001. — Vol. 36.
5. Першиц Р. Я. Управляемость и управление судном / Р. Я. Першиц. — Л.: Судостроение, 1983. — 272 с.
6. Гофман, А. Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна: справочник / А. Д. Гофман. — Л.: Судостроение, 1988. — 360 с.
7. Stern F., Wilson R. V., Coleman H., Paterson E. Computational ship hydrodynamics: an introduction. — Cambridge: Cambridge University Press, 2013. — 350 p.
8. Иванов В. А. Теория корабля. Сопротивление воды движению судов / В. А. Иванов. — Л.: Судостроение, 1981. — 312 с.

