



УДК 532.5

Лукина Евгения Александровна, доцент, к.т.н., доцент кафедры Гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов

Самосюк Алина Игоревна, к.т.н., доцент кафедры Гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов

Лискович Елена Евгеньевна, магистрант направления 26.04.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры» кафедры Гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов

Кропова Надежда Владимировна, студент специальности 26.03.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры»

Волжский государственный университет водного транспорта
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГЛИССИРУЮЩИХ МАЛОМЕРНЫХ СУДОВ

Аннотация. Данная статья представляет материал исследования изменения характеристик современных глиссирующих маломерных судов, в частности, моторных лодок. В связи с изменением потребительских свойств судов данного типа встаёт вопрос об анализе применимости существующих методик оценки их сопротивления. Целью данного анализа является выявление на ранних этапах проектирования взаимосвязи характеристик корпуса и мощности подвесного лодочного мотора при обеспечении проектной скорости. Также выполнен анализ влияния килеватости судна на сопротивление и буксировочную мощность проектируемого судна с целью подбора мощности подвесного лодочного мотора на ранних этапах проектирования.

Ключевые слова: глиссирование, маломерное судно, килеватость, сопротивление, буксировочная мощность.

Обоснование актуальности исследования

При проектировании современных глиссирующих маломерных судов для условий плавания в соответствии с заявленной категорией, позволяющей моторным лодкам выходить в водохранилища Единой государственной системы водных путей (ЕГС ВП) России, возникает необходимость оптимизации их скоростных характеристик и мореходности на волнении. При этом существует тенденция, обусловленная рыночным спросом, на возрастание скорости моторных лодок (туристских, рыболовных) до 70-80 км/ч при повышении её комфортабельности, а значит, увеличении веса. Такое увеличение скорости открытых судов обязывает проектантов ответственно подходить к обеспечению мореходных качеств с учётом безопасности судна. Подбор мощности подвесного мотора для обеспечения заданных скоростей движения выходит за границы

диапазона предлагаемых стандартами ГОСТ 19105-79 [1] и ВИА-307-72 [2] методик. В процедуре присвоения моторным лодкам категории возможность установки мотора повышенной мощности проверяется экспериментально [3] на уже построенном судне. Поэтому вопрос подбора мощности мотора при проектировании в настоящее время целиком лежит на проектантах и обеспечивается их знаниями в области взаимосвязи характеристик формы корпуса, его гидродинамических качеств и характеристик двигательного-двигательного комплекса.

Сравнительный анализ характеристик

В течение последних 20 лет в России в проектировании маломерного флота явно заметна тенденция к увеличению водоизмещения и скорости прогулочных и рыболовных моторных лодок открытого типа. Был проведён сравнительный анализ характеристик данного типа судов советской [4] и современной [5] постройки по выборке из 35 моторных лодок длиной от 4,0 до 5,5 м. В качестве параметра сравнения была принята величина отношения массы лодки с полной нагрузкой $D_{гр}$ к мощности подвесного лодочного мотора (ПЛМ) N при достижимой скорости движения. На рисунке 1 можно увидеть довольно чёткое разграничение областей характеристик советских и современных лодок в указанном типоразмерном ряде. Анализ показал, что скорости современных судов выросли за счёт мощности мотора, т.к. при возросших массах характеристика нагруженности $D_{гр}/N$ у современных прогулочно-туристских лодок снижена.

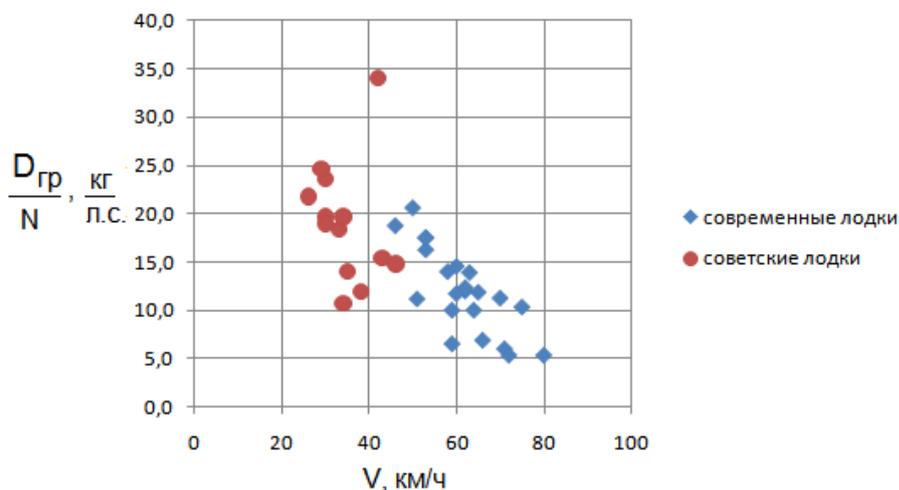


Рис. 1 Нагруженность корпусов $D_{гр}/N$ моторных лодок $L=4,0-5,5$ м советской и современной постройки при характерных скоростях движения V .

Изменение характеристик обусловлено покупательским спросом. И перед проектировщиками встаёт вопрос о правомерности использования существующих расчётных методик для оценки сопротивления движению и мощности этой категории судов. Всегда остаётся актуальным вопрос о возможности быстрой оценки мощности на этапе разработки коммерческого предложения, так как цена ПЛМ составляет значительный процент от стоимости лодки, и ожидаемая скорость в совокупности с его мореходностью также должны быть известны заказчику проекта до начала постройки. При этом в ходе расширения модельного ряда производства величина изменений в оснастке и оборудовании также влияет на производственные затраты и конечную стоимость лодки.

Постановка задачи

Вопрос достижимой скорости и потребной для этого мощности мотора напрямую связан с началом выхода судна на режим глиссирования. Начало этого режима принято

определять числом Фруда по водоизмещению $Fr_D=3$. А при $Fr_D>5$ корпус поддерживается практически только гидродинамическими силами. Известны исследования, показывающие, что доля гидростатики на развитом режиме глиссирования составляет около 10% только для плоскодонных корпусов и с ростом килеватости возрастает до 50-65% [6]. Известна зависимость скорости начала глиссирования от относительного удлинения корпуса L/B . Однако, при различных углах килеватости β выход на режим глиссирования «размыт» по диапазону чисел Фруда. Соответственно, неплохо было бы иметь оценку «сдвига» нижней границы устойчивого глиссирования при разных углах килеватости корпусов с одинаковым относительным удлинением. Хотя бы только для призматических плоско-килеватых корпусов, т.к. разнообразие геометрических форм носовых обводов и наличие реданов будут оказывать влияние на ходовые качества судна. Степень нагруженности корпуса ($D_{гр}/N$), также влияющая на его гидродинамические характеристики, на практике малотоннажного судостроения принято учитывать величиной энерговооружённости корпуса, которая для выхода судна на режим глиссирования должна составлять не менее 30-35 л.с. на тонну водоизмещения или не более 30 кг водоизмещения на одну л.с. подведённой мощности. Опять же эти цифры справедливы для малокилеватых корпусов с приводным гребным винтом, а влияние угла килеватости на их значения необходимо рассматривать детально в каждом случае.

С целью определения влияния килеватости корпуса на сопротивление в увеличенном диапазоне скоростей до 80 км/ч была поставлена задача оценки возможностей существующих методик расчета гидродинамических характеристик килеватого глиссирующего корпуса при в указанных условиях.

Расчётная оценка сопротивления

Для оценочного расчёта сопротивления глиссирующего судна самое широкое применение нашла методика Д. Савитски [7], реализованная не только в графоаналитическом виде, но и в программных комплексах, выполняющих параметрический анализ ходкости – NavCad (Hydrocomp, USA), FreeShip и др. Методика позволяет определить посадку и сопротивление призматического глиссирующего плоскокилеватого корпуса в широком диапазоне скоростей, нагрузок и углов килеватости. С её помощью было вычислено сопротивление и буксировочная мощность глиссирующей моторной лодки длиной 5,35м с корпусом «моногодрон» как оптимально сочетающим в себе качества устойчивого и безопасного хода на волнении и широко распространённого в применении для маломерных судов категорий, позволяющих эксплуатацию в водоёмах с высотой волны 1,2...2,0 м. Средний угол килеватости днища $\beta_k=20^\circ$. Водоизмещение лодки принято в соответствии с одним из её эксплуатационных случаев нагрузки $D_{гр}=1320$ кг. Отстояние центра масс от транца $\xi_g=1,81$ м. Диапазон скорости движения – до 80 км/ч.

Расчёт произведён по методике, изложенной в [8]. Основные геометрические элементы корпуса определены по теоретическому чертежу, массово-центровочные характеристики – экспериментально.

В ходе расчётов было установлено, что при значениях коэффициента динамической нагрузки (1) и коэффициента гидродинамического момента (2)

$$C_B = \frac{2D_{гр}}{\rho v^2 B^2} \quad (1)$$

$$m_D = \frac{M_Q}{BD_{гр}} = \frac{\xi_g}{B} \quad (2)$$

для данной лодки смоченное удлинение для плоской пластины λ_0 и отношение коэффициента динамической нагрузки к углу ходового дифферента C_B/ψ_0 (при $\beta_k = 0^\circ$) не представляется возможным определить по графикам (рис. VI-13, а,б) [8] при скоростях лодки ниже 30 км/ч. При скоростях от 30 до 80 км/ч указанные значения для лодки с принятыми массово-центровочными характеристиками находятся на нижней границе

зоны определённости и не изменяются во всём диапазоне чисел Фруда: $\lambda_0 = 1,3$; $C_B/\psi_0 = 1,3 \dots 1,15$.

Для расчётных значений $C_B=0,883 \dots 0,014$ получены углы ходового дифферента ψ_0 , соответствующие заданной центровке судна с плоским днищем. С учётом вычисленных по эмпирическим формулам [8] поправок $\Delta\lambda$ и $\Delta\psi$ на влияние килеватости днища были определены значения относительного удлинения λ и углов ходового дифферента ψ .

Смоченная поверхность судна в работе была определена двумя способами: по эмпирической формуле

$$\Omega = \lambda V^2, \quad (3)$$

и с использованием расчёта элементов теоретического чертежа лодки. Характерно, что по графику изменения смоченной поверхности (рис.2), пересчитанному с модели на натурную лодку, можно наблюдать переход корпуса от режима плавания к глиссированию и точно определить скорость, при которой данное судно выходит на устойчивый режим глиссирования. Так для данной лодки это значение соответствует $Fr_D > 3.4$, что соответствует скорости 40 км/ч.



Рис.2. Изменение площади смоченной поверхности лодки при различных режимах движения

При определении сопротивления воды для «голового» корпуса значение коэффициента сопротивления трения гладкой пластины ζ_{f0} определено по графику рис. П-9 [8], а надбавка на шероховатость принята $\Delta\zeta_f = 0,2 \cdot 10^{-3}$. Дополнительное сопротивление ΔR_k от выступающих частей корпуса в расчёте полного сопротивления не учтено, т.к. модель не имела таковых при буксировке. При внесении поправки для оценки мощности ПЛМ следует увеличить значение сопротивления на 15% от сопротивления с учётом аэродинамики.

Воздушное (аэродинамическое) сопротивление R_{ax} определено при значении коэффициента $C_a = 0,5$, без учёта скорости ветра, с площадью проекции надводной части судна $F_a = 1,18 \text{ м}^2$.

Результаты расчёта в форме кривых полного сопротивления и буксировочной мощности приведены на графиках рисунка 5.

Модельные испытания

Для принятой к расчёту лодки были проведены буксировочные испытания модели, выполненной в масштабе 1:4 (рисунки 3 и 4). Сопротивление модели в ходе испытаний

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

измерялось динамометром с выносным тензодатчиком, установленном на буксировочном тросе.



Рис. 3. Буксировка модели моторной лодки

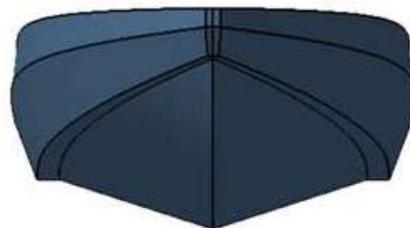


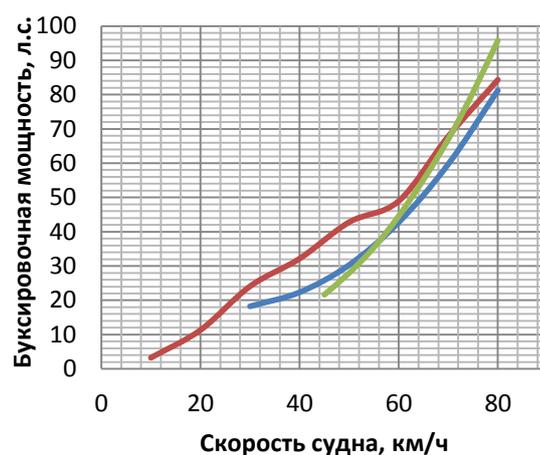
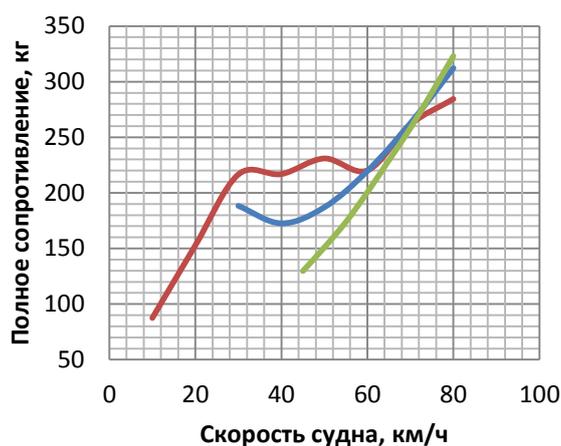
Рис. 4. Корпус модели

Результаты испытаний позволили сделать визуальную оценку поведения устойчивости движения лодки на разных скоростях; найти минимально допустимое положение центра масс (ЦМ) лодки в различных состояниях нагрузки при отсутствии дельфинирования; определить сопротивление движению; позволили выполнить расчёт буксировочной мощности пересчётом результатов с модели на натуру.

По результатам испытаний визуальная оценка движения модели показала: форма носовой волны в переходном режиме соответствует форме скуловой линии. Выход модели на глиссирование во всех случаях нагрузки происходит при скорости модели 10-15 км/ч, что соответствует скоростям движения натурной лодки 20-30 км/ч. В режиме устойчивого глиссирования модель уверенно движется на полке скулы с ходовым дифферентом 4-5°. Забрызгивания внутреннего пространства модели не наблюдалось [9].

При выбранных состояниях нагрузки масс определены центровки модели, при которых обеспечивается устойчивое глиссирование без дельфинирования.

Измерены значения сопротивления движению модели при движении на проектных скоростях натурной лодки до 80 км/ч. Экспериментальные кривые полного сопротивления и буксировочной мощности, полученные пересчётом с модели на натуру, удовлетворительно согласуются с результатами расчётов по методике Д.Савитски (рисунок 5).



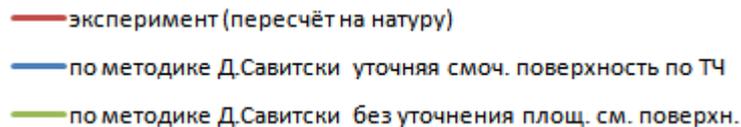


Рис. 5. Полное сопротивление и буксировочная мощность моторной лодки длиной 5,35 м с корпусом «моногедрон»

Выполненные впоследствии натурные ходовые испытания лодки показали её уверенный ход со скоростью 75 км/ч под мотором 140 л.с.

Следует отметить, что в случае определения коэффициента трения гладкой пластины по экстраполятору трения сопротивления получатся выше на 20% от пересчитанного по результатам испытаний, а в случае определения коэффициента трения по рис. П-9 [8] – на 10% ниже результатов пересчёта испытаний при уточнённом способе определения смоченной поверхности, что и представлено на рисунке 5.

Выводы

Принятое к рассмотрению судно оказалось в минимально допустимой зоне использования методики. Т.к. большинство судов из категории рассмотренных маломерных судов имеет близкие характеристики нагруженности корпуса ($D_{гр}/N$) и расчётный диапазон чисел Фруда Fr_D , то методика Д.Савитски подходит только для оценочного расчёта их сопротивления. Как уже упоминалось выше, расчётные формулы методики Д.Савитски получены для призматического плоско-килеватого корпуса. Поэтому точность результатов будет уменьшаться с отклонением формы корпуса от плоскокилеватой и призматической.

По графику изменения смоченной поверхности (рис. 2) очевидно движение данного судна на устойчивом режиме глиссирования при значении $Fr_D > 3.4$, что соответствует скорости 40 км/ч и при величине относительного удлинения рассмотренной лодки $L/B=2.81$ хорошо согласуется с известными результатами [6]. Минимум кривой смоченной поверхности приходится на значение $Fr_D=2.8$. На хорошо известной зависимости посадки плоскодонного корпуса при различных режимах движения кривая среднего погружения имеет минимум при $Fr_D=1.7$, а выход на устойчивое глиссирование принят при $Fr_D=3$ [10]. Существенное отличие характерных значений минимума и близкое значение Fr_D начала устойчивого режима свидетельствует о резком выходе значительно килеватого корпуса на устойчивое глиссирование при числах Фруда, характерных преимущественно для плоского корпуса. Это стало возможным за счёт обводов с полкой скулы.

Расчёты, выполненные при различных углах килеватости рассмотренного корпуса, показали отличия в значениях буксировочной мощности до 10%, что на этапе предварительной оценки имеет небольшое значение.

С целью количественной оценки точности методики для различных видов килеватых корпусов (моногедрон, «крыло чайки»), используемых в настоящее время на открытых внутренних водоёмах, необходимо проведение исследований на размерном ряде корпусов одного типа.

Список литературы:

- ГОСТ 19105-79 Суда прогулочные гребные и моторные. Типы, основные параметры и общие технические требования. – Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200010121> (0,4 п.л.)
- Новак Г.М., "Катера, лодки и моторы в вопросах и ответах.": Справочник. Л., «Судостроение», 1977. – 288 с.

3. Методика испытаний на маневренность ГОСТ 19356-79 Суда прогулочные гребные и моторные. Методы испытаний (с Изменениями N 1, 2).– Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200010987> (0,6 п.л.)
4. Обзор советских моторных лодок (публикация 17.11.2017г.) / Лодки / Моторы и лодки СССР. – Режим доступа <http://vih.su/> Лодки.
5. Таблица винтов и скоростей. ВОДНО-МОТОРНЫЙ КЛУБ "НЕВОД". – [<http://клубневод.рф/prop-speed.php>]. 29.05.2020 дата доступа к мат-лам
6. А. Даняев. Глиссирование – что же это такое? / КиЯ. 1(259) 2016.– с.46-49.
7. Savitsky Daniel. Hydrodynamic Design of Planing Hulls // Marine Technology, vol.1, №1, 1964.
8. Басин А.М. Ходкость и управляемость судов: Учебное пособие для вузов водного транспорта./ А.М. Басин. – М.: Транспорт, 1977. – 456
9. Отчёт об испытаниях на открытой воде буксируемой модели глиссирующей моторной лодки «SL 535». SL535-010-027 – ООО НПП «Спиннинглайн боатс», 2016. – бл. [Рукопись, КД]
10. Справочник по малотоннажному судостроению./[Сост. Б.Г. Мордвинов].–Л.: Судостроение, 1988. – 576с., ил.

ASSESSMENT OF THE RESISTANCE OF MODERN PLANING CRAFT SMALL VESSELS

Evgeniya A.Lukinaa, Alina I. Samosyuk, Elena E. Liskovich, Nadezhda B. Kropova

Annotation. This article presents the research material on changes in the characteristics of modern planing small vessels, in particular motor boats. In connection with the change in consumer properties of this type of vessels, the question arises of analyzing the applicability of existing methods for assessing their resistance. The purpose of this analysis is to identify at the early stages of design the relationship between the characteristics of the hull and the power of the outboard motor while ensuring the design speed. The analysis of the influence of the ship's keel on the drag and towing capacity of the designed vessel was also performed in order to select the power of the outboard motor at the early stages of design.

Keywords: planing, small vessel, raise of floor, drag, towrope power.