5 [2025]
ISBN 978-5-901722-00-8
ТРАНСПОРТ. ГОРИЗОНТЫ РАЗВИТИЯ

УДК 532.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОННЕЛЬНОЙ КОРМЫ НА ГИДРОДИНАМИКУ МАЛОМЕРНОГО СУДНА

Земсков Евгений Алексеевич[1], магистрант
e-mail: zemskoff2013@yandex.ru
Егорченков Кирилл Владимирович[1], аспирант
e-mail: egorchenkov.sven@mail.ru
Чебан Егор Юрьевич[1], доцент, доктор технических наук, профессор кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов
e-mail: egor.cheban.2@gmail.com

[1] Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Представлены результаты численного моделирования гидродинамики корпуса маломерного катера с тоннелем в кормовой части корпуса диаметром 250. 375 и 420 мм в диапазоне скоростей от 10 м/с до 22 м/с. Показано, что появление тоннеля в кормовой части днища не приводит к повышению гидродинамических характеристик маломерного судна. Катер с тоннельной кормой имеет преимущество в осадке, но появление тоннеля всегда приводит к повышению сопротивления. При использовании тоннеля необходимо пересматривать компоновку маломерного судна и положение его центра тяжести.

Ключевые слова: катер, тоннель, гидродинамические характеристики, вычислительная гидродинамика, гидродинамическое качество.

STUDY OF THE INFLUENCE OF TUNNEL AFT ON THE HYDRODYNAMICS OF LIGHT CRAFT

Evgeny A. Zemskov[1], Master's Degree student
e-mail: zemskoff2013@yandex.ru
Kirill V. Egorchenkov[1], Doctoral student
e-mail: egorchenkov.sven@mail.ru
Egor Yu. Cheban[1], Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Hydrodynamics, Ship Theory and Environmental Safety of Ships
e-mail: egor.cheban.2@gmail.com

[1] Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The study presents the results of numerical modeling of the hydrodynamics for a small boat hull with a tunnel in the stern of the hull. Diameter of a tunnel 250, 375 and 420 mm in the speed range from 10 /s to 22 m/s. It is shown that a tunnel in the stern of the bottom does not lead to an increase in the hydrodynamic characteristics of a small vessel. A boat with a tunnel stern has an advantage in draft, but the appearance of a tunnel always leads to an increase in resistance.

When using a tunnel, it is necessary to revise the layout of the small vessel and the position of its center of gravity.

Keywords: speed boat, tunnel hull, CFD, hydrodynamic characteristics, hydrodynamic quality.

В судостроении тоннели, представляющие собой специальные обтекатели или внутренние каналы, используются для управления потоком жидкости вокруг корпуса судна или его элементов.

Установка тоннелей на высокоскоростные суда может позволить снизить волновое и брызговое сопротивление, что достигается за счет изменения гидродинамики потоков при обтекании корпуса, в том числе за счет создания зон пониженного давления и уменьшения интенсивности локальных турбулентных вихрей. Тоннели могут повышать устойчивость судна при резких маневрах или воздействии внешних факторов, таких как волновые воздействия и порывы ветра. В общем случае тоннели подразделяются на:

- предназначенные для изменения направления потоков и снижения турбулентности;
- служащие для распределения давления и улучшения гидродинамической устойчивости;
- включающие активные элементы управления потоками, такие как системы адаптивного обтекания.

Такие тоннели могут быть интегрированы в конструкцию корпуса или установлены как отдельные элементы.

Размеры и форма тоннеля должна обеспечивать плавное перенаправление потоков без создания дополнительных зон с повышенным давлением или турбулентностью.

В то же время из практики известно, что использование обводов быстроходных и скоростных судов с тоннелями не всегда приводит к желаемому повышению гидродинамических характеристик (ГДХ), поскольку любые изменения формы корпуса приводят к сложному взаимодействию потоков на днище судна и соответственно перераспределению давления. Однако рекомендации по размерам и форме тоннелей для судов разных размерений отсутствуют.

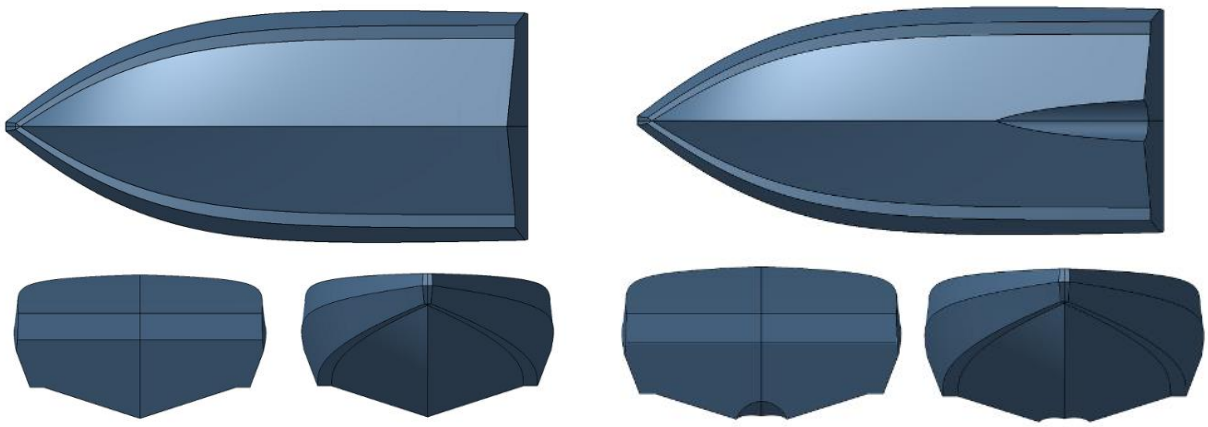
Следовательно, вопрос использования тоннельных обводов для повышения ГДХ скоростных маломерных судов остается актуальным. Целью настоящей работы является оценка изменения ГДХ скоростного маломерного судна с тоннелями разного размера.

Одной из проблем при исследовании гидродинамики скоростных маломерных судов является масштабный эффект, которого можно избежать с помощью методов вычислительной гидродинамики (CFD) [1], моделируя объекты в натурную величину. В настоящей работе для моделирования гидродинамики скоростного маломерного катера использовался программный комплекс FineMarine™, результаты моделирования скоростных судов в котором, показывают хорошее совпадение с экспериментами [2].

В настоящей работе выполнено исследование гидродинамики скоростного маломерного катера с тоннелями диаметрами 250, 375 и 420 мм постоянной длины, представляющими собой ниши в кормовой части днища. Результаты моделирования сравнивались с исходным катером без тоннелей (рис. 1). Основные характеристики моделируемых вариантов корпусов катера представлены в табл. 1. Начальная осадка и дифферент, а также инерционные характеристики определялись с помощью встроенного в FineMarine™ модуля Domhydro.

При моделировании изменялся только диаметр тоннеля, его длина оставалась постоянной. Масса катера была принята также постоянной с неизменным положением ЦТ по длине.

Решалась нестационарная задача с тремя степенями свободы: движение вперед, вертикальное перемещение и вращение относительно поперечной оси.



а) *б)*

Рисунок 1 – Геометрия катера: а) исходный корпус; б) корпус с тоннелем D=420 мм

Таблица 1. Характеристики моделируемых корпусов катера

1.	Диаметр тоннеля, мм	0	250	375	420
2.	Координаты ЦТ				
	x	1.77	1.77	1.77	1.77
	y	0	0	0	0
	z	0.884	0.71	0.69	0.712
3.	Масса, кг	1501	1501	1501	1501
4.	Матрица инерции, кг*м^2				
	A	908.70	874.82	873.54	878.91
	B	4755.027	3560.84	3558.26	3557.916
	C	5231.52	4074.001	4072.657	4067.829
	D	0	0	0	0
	E	7.488	109.17	107.674	173.553
	F	0	0	0	0
5.	Начальный дифферент, град	0.0243	0.021	0.021	0.02
6.	Начальная осадка, м	0.2	0.2	0.2	0.2
7.	Скорость, м/с	10, 12, 14, 16, 18, 20, 22			
8.	Числа Фруда	2.090, 2.508, 2.925, 3.343, 3.761, 4.179, 4.597			

Общие настройки численного моделирования, подходы к построению расчетной сетки, начальные и граничные условия использовались на основании ранее выполненных работ [2-4].

Результаты моделирования: осадка и угол дифферента катера, значение силы сопротивления и площади смоченной поверхности приведены на графиках рис. 2-6.

В развитом режиме глиссирования осадка судна уменьшается, появляется дифферент в корму, который с течением времени стабилизируется. Как видно из рис. 2, зависимость изменения осадки от скорости в большей степени проявляется для корпуса катера без тоннеля и с тоннелем диаметром D=250 мм, причем в обоих случаях наблюдаются изломы графиков, что может быть обусловлено рикошетированием и кабрированием судна при движении с этими скоростями.

Дифферент катера с тоннелями всех диаметров стабилизируется при скоростях выше 18 м/с (рис. 3), однако для катера без тоннеля продолжается изменяться и при больших скоростях. Необходимо отметить, что при скоростях меньших 10 м/с дифферент в корму

достигает значений 5 и более градусов, что может свидетельствовать об излишнем смещении ЦТ судна в корму. Это требует пересмотра положения ЦТ по длине судна, в том числе, возможно, использования иной компоновки катера.

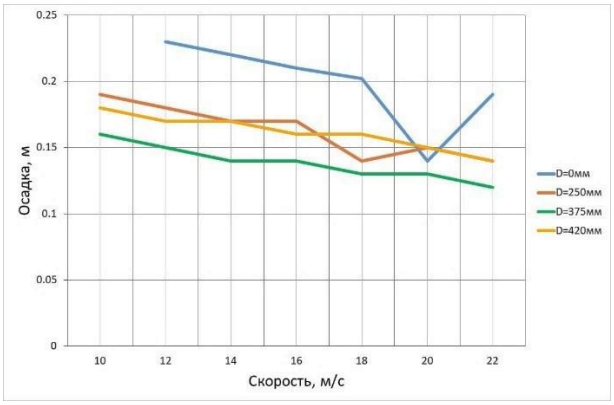


Рисунок 2 – Изменение осадки катера при увеличении скорости

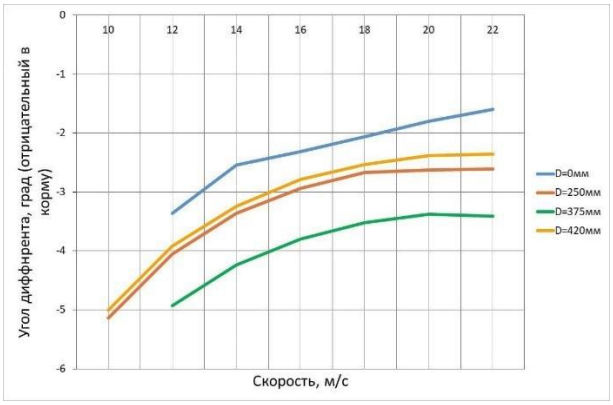


Рисунок 3 – Изменение угла дифферента катера

Уменьшение осадки и увеличение угла дифферента приводит к снижению площади смоченной поверхности (рис. 4). В то же время тоннель изначально увеличивает площадь смоченной поверхности, что также приводит к увеличению сопротивления (рис. 5). Необходимо отметить, что разница в сопротивлении катера с разными диаметрами тоннеля незначительная и не превышает 5-7 процентов, однако рост сопротивления по сравнению с обычным корпусом достигает 37 процентов для D=420 мм.

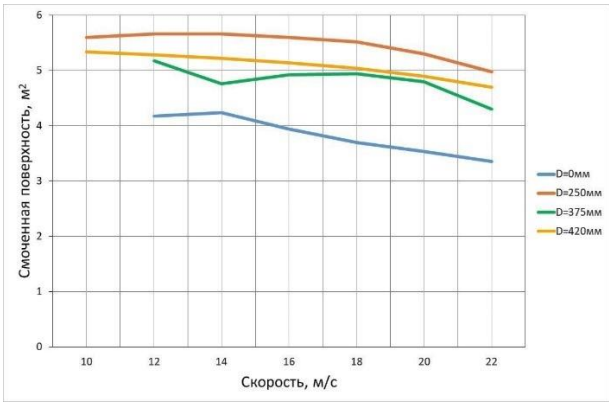


Рисунок 4 – Изменение площади смоченной поверхности

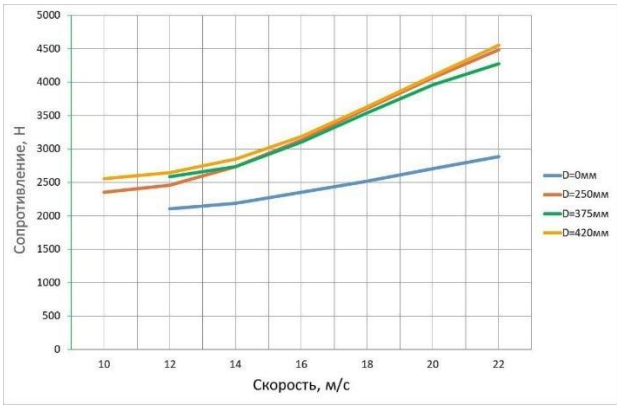


Рисунок 5 – Сопротивления катера с различными диаметрами тоннеля

Корпус исходного катера имеет значительную килеватость, которая при высоких скоростях не позволяет глиссировать бортовым плоскостям, что видно из распределения гидродинамического давления по поверхности днища (рис. 6). По всей видимости целесообразно уменьшить угол килеватости исходного корпуса. Кроме того, по краям ниши тоннеля наблюдаются области пониженного давления, что может приводить к повышению сопротивления и отрыву потока. Кроме того, область повышенного давления на днище катера без тоннеля распределена более равномерно и достигает более высоких значений (рис. 6а) тоннель же способствует понижению суммарного давления и по всей видимости, уменьшению подъемной силы на корпусе.

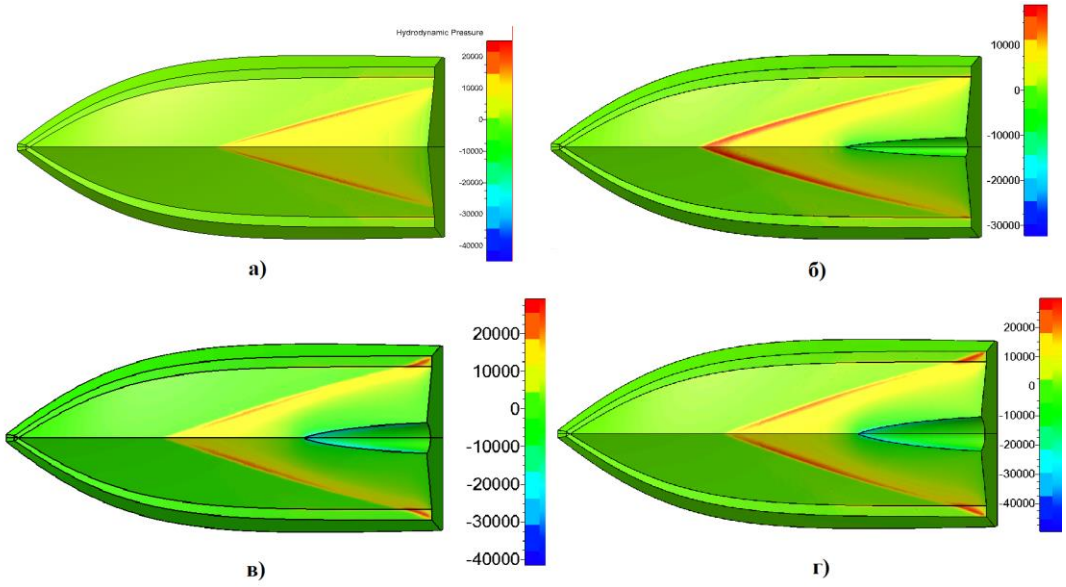
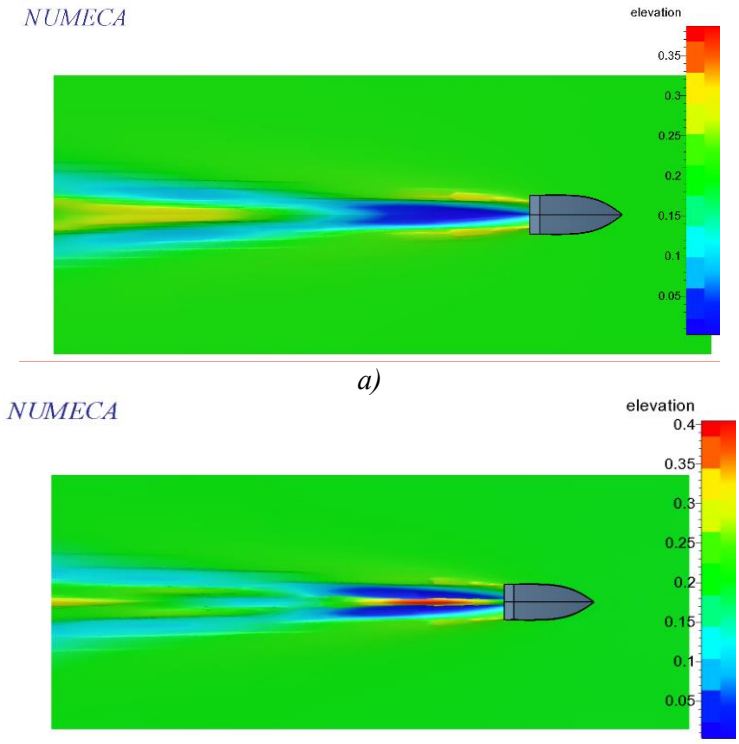


Рисунок 6 – Распределение гидродинамического давления по поверхности днища катера при скорости 22 м/с: а) D=0 мм; D=250 мм; D=375 мм; D=420 мм

При движении катера в ДП образуется волна большей высоты (рис.7), чем у катера без тоннеля, что предполагает возможность использования тоннелей для создания волн нужной высоты для водных видов спорта.



а)

б)

Рисунок 7 – Волновая поверхность при движении катера со скоростью 22 м/с: а) без тоннеля; б) с тоннелем D=420 мм.

Основные результаты исследования показывают, что в общем случае появление тоннеля простой интеграцией его в кормовую часть маломерного катера не всегда приводит к

повышению его гидродинамических характеристик. Требуется тщательная проработка обводов с учетом всех элементов, которые могут изменять гидродинамику корпуса маломерного судна.

Авторы работы благодарят д.т.н., профессора кафедры Прикладной математики и математического моделирования ФГБОУ ВО «СПБГМТУ» Д.В. Никущенко за помощь при выполнении исследований.

Список литературы:

1. Численные методы в механике жидкости: учебное пособие / Д.В. Никущенко. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГМТУ, 2025. – 144 с. ISBN 978-5-88303-720-6

2. Чебан, Е.Ю. Исследование влияния некоторых особенностей формы корпусов глиссирующих судов на их сопротивление численными методами / Е.Ю. Чебан, Д.В. Никущенко // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2017. – № 48-49. – С. 59-69. – EDN ZULPNP.

3. Исследование взаимного влияния корпуса маломерного судна и измерительной аппаратуры с использованием численного моделирования полей скорости / Е.Ю. Чебан, Е.А. Лукина, А.И. Кожевников [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. – 2024. – № 1-1(63). – С. 282-291. – DOI 10.37220/MIT.2024.63.1.034. – EDN ZDPBMJ.

4. Исследование влияния формы кормовой оконечности маломерного судна на его гидродинамические характеристики / Е. Ю. Чебан, О. В. Мартемьянова, М. Ю. Поляшова, А.А. Мольков // Научные проблемы водного транспорта. – 2023. – № 76. – С. 75-88. – DOI 10.37890/jwt.vi76.388. – EDN SNYZTL.