

УДК 629.5.01
К 68

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОРМОВОЙ ПРОФИЛИРОВАННОЙ ВЫЕМКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДЫ ДВИЖЕНИЮ СУДНА

Ю. М. Король, канд. техн. наук, проф. НУК;
Ю. С. Боднарчук, асп.

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Исследован вопрос о степени эффективности использования профилированной выемки, изменяющей распределение давления на поверхностях надводных судов и подводных лодок, для снижения сопротивления тел при их движении.

Ключевые слова: выемки, поверхность, сопротивление, давление.

Анотація. Досліджено питання про ступінь ефективності використання профільованої виїмки, що змінює розподіл тиску на поверхнях надводних суден і підводних човнів, для зниження опору тіл при їх русі.

Ключові слова: виїмки, поверхня, опір, тиск.

Abstract. The question of the efficiency degree of the usage of profiled recess which changes the pressure distribution on the surfaces of the surface ships and submarines to reduce the resistance of bodies in the motion in liquid has been studied.

Keywords: recesses, surface, resistance, pressure.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В современном мире в условиях экономического и экологического кризиса одним из главных направлений совершенствования судов является уменьшение затрат топлива при перевозке различных грузов. Непрерывный рост цен на топливо может поставить под сомнение целесообразность использования судов традиционной формы.

Одним из способов решения этой задачи является уменьшение сопротивления воды движению судна.

К настоящему времени существует немало эффективных методов снижения сопротивления (рис. 1) [3]. Приведенные методы можно разделить на три группы:

- усовершенствования формы корпуса;
- управление пограничным слоем (ПС);
- использование интерцепторов и профилированных выемок, которые изменяют распределение давления (ВИРД) на поверхности корпуса судна.



Рис. 1. Методы снижения сопротивления воды движению судна

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время специфическая поверхность мяча для гольфа достигает все большей популярности для применения ее в различных отраслях промышленности [4]. Так, в машиностроении (<http://www.fainaidea.com/archives/11239>, <http://www.lexusenthusiast.com/2009/06/10>) отмечают преимущества размещения углублений на поверхности автомобиля для снижения аэродинамического сопротивления, в свою очередь другой источник (<http://www.smotra.ru/users/mihalych-2/blog/140038/>) опровергает данный эффект. Отсюда следует, что данный вопрос подлежит более глубокому изучению.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ – исследование эффективности выемки, изменяющей распределение давления, на примере надводных судов и подводной лодки.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Сопротивление движению судна зависит от многих факторов, которые в свою очередь влияют на величину сил сопротивления (главные размерения судна, формы обводов, состояние поверхности наружной обшивки, скорость (рис. 2), режим движения, параметры посадки и условия эксплуатации). Расчетным режимом для надводных водоизмещающих судов является режим плавания, когда действующие на судно силы тяжести практически полностью уравновешиваются архимедовой силой поддержания.

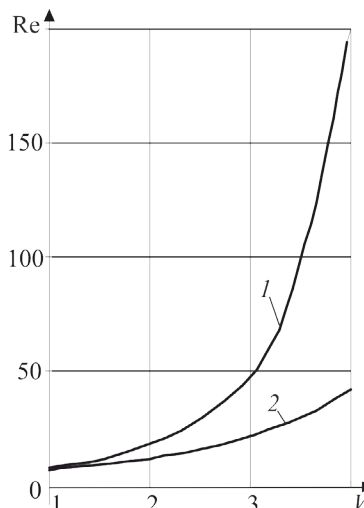


Рис. 2. Типичные кривые сопротивления воды движению водоизмещающего судна в зависимости от скорости [2]: 1 – полное сопротивление; 2 – сопротивление трения

Рассматривая картину обтекания корпуса на рис. 3, видим, что при обтекании существуют две критические точки, которые влияют на изменения характера обтекания корпуса. В первой точке (A) происходит изменение потока из ламинарного в турбулентный, во второй точке (B) – отрыв пограничного слоя, за которым следуют завихрения потока. В этих же точках и происходит изменение распределения давления на поверхности корпуса судна.



Рис. 3. Обтекание корпуса и изменения в пограничном слое

Отметим, что ВИРД является одним из способов активного воздействия на пограничный слой, это в свою очередь вызывает перераспределение давления по корпусу судна.

Для подтверждения данного эффекта была создана 3D-геометрия сухогрузного судна с гладкой поверхностью в САД-пакете SolidWorks (рис. 4).



Рис. 4. Твердотельная модель сухогрузного судна

Приведенный корпус имеет следующие характеристики:

- длина судна наибольшая $L_{нб} = 93,28$ м;
- длина по ватерлинии $L_{квл} = 91,64$ м;
- ширина $B = 12,7$ м;
- высота борта $H = 6,7$ м;

- осадка $T = 5$ м;
- коэффициент общей полноты $\delta = 0,703$;
- коэффициент полноты ватерлинии $\alpha = 0,691$;
- коэффициент полноты мидель-шпангоута $\beta = 0,983$.

С помощью программного комплекса Flow Vision был исследован первичный корпус судна. После этого было рассмотрено 3 варианта корпусов с установленными на их днищевой поверхности ВИРД: 1 – корпус с двумя ВИРД (рис. 5); 2 – корпус с ВИРД с закруглением 20 м и 3 – корпус с ВИРД с закруглением 100 м. Все корпуса исследовались в одинаковых условиях и при одинаковых скоростях.



Рис. 5. Новая форма корпуса

Рассмотрев картину обтекания приведенных корпусов, можно сделать вывод, что ВИРД меняет характер давления на поверхности корпуса судна. За счет выемки происходит перераспределение давления, оно повышается раньше, что позволяет приблизить картину давления до состояния судна, движущегося в идеальной среде [1].

По данным, полученным из среды Flow Vision, имеем следующие результаты (табл. 1).

Таблица 1. Сопротивление воды движению судов в среде Flow Vision

Вид судна	Сопротивление, кН	Уменьшение сопротивления, %
Гладкий корпус	80,496	0,00
Корпус с двумя выемками	68,726	14,62
Корпус с выемкой с закруглением 20 м	65,272	18,91
Корпус с выемкой с закруглением 100 м	70,384	12,56

Для исследования эффективности ВИРД на поверхности подводной лодки был выбран корпус, изображенный на рис. 6.



Рис. 6. Твердотельная модель подводной лодки

Корпус имеет следующие характеристики:
длина наибольшая $L_{нб} = 139$ м;
ширина $B = 14,8$ м;
масса $D = 6801,29$ т.

После проведения численных экспериментов в поисках оптимального решения о месте расположения и размерах ВИРД получен график (рис. 7), на котором видно, что при скорости 14 м/с для подводной лодки с двумя выемками (рис. 8) шириной 0,43 % от длины лодки сопротивление снизилось на 15 %.

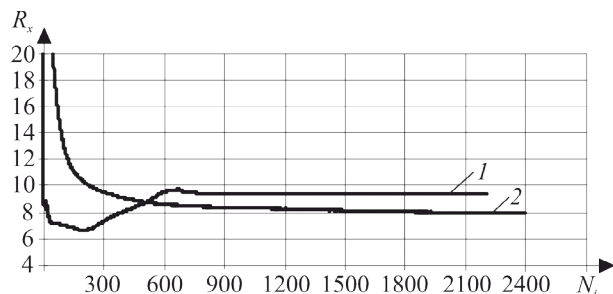


Рис. 7. Изменение сопротивления в зависимости от итераций: 1 – гладкий корпус; 2 – корпус с двумя выемками



Рис. 8. Подводная лодка с двумя выемками

Для исследования эффективности ВИРД на поверхности модели и натурного крупнотоннажного транспортного судна с большой полнотой обводов был выбран корпус, изображенный на рис. 9.



Рис. 9. Твердотельная модель крупнотоннажного транспортного судна с большой полнотой обводов

Корпус имеет следующие характеристики:
длина наибольшая $L_{нб} = 309$ м;
ширина $B = 44,5$ м.
Корпус модели имеет характеристики:
длина наибольшая $L_{нб} = 6,58$ м;
ширина $B = 0,945$ м.

В программном комплексе SolidWorks была создана 3D-геометрия гладкой модели и модели с двумя ВИРД (рис. 10) с шириной 0,76 % от длины судна, получено снижение сопротивления на 10,5 %.



Рис. 10. Модель с двумя ВИРД

После этого модели были увеличены в масштабе к заданным размерам реального судна, и в результате сопротивление увеличилось на 5 %. Поэтому использование ВИРД на модели возможно, но применить модельные испытания к натурному судну нельзя, так как размеры и место расположения ВИРД для каждого судна необходимо подбирать отдельно.

Подобрав для этого типа судна ВИРД, по полученным данным из среды Flow Vision построили кривые буксировочного сопротивления в зависимости от скорости. Анализ полученных зависимостей приведен в табл. 2.

Таблица 2. Сопротивление движению крупнотоннажных транспортных судов в среде Flow Vision

Вид судна	Сопротивление, кН	Уменьшение сопротивления, %
Гладкий корпус	775,55	0,00
Корпус с двумя выемками	669,66	13,65

ВЫВОДЫ

1. Рассмотренный способ управления пограничным слоем – ВИРД (выемка, изменяющая распределение давления) – был применен к сухогрузному судну, подводной лодке и крупнотоннажному транспортному судну с большой полнотой обводов. Анализ полученных кривых буксировочного сопротивления в зависимости от скорости показал следующее:

для сухогрузного судна при скорости 6 м/с с одной специфической ВИРД шириной 3 % от длины судна сопротивление снизилось на 19 %;

для подводной лодки при скорости 14 м/с с двумя ВИРД шириной 0,43 % от длины судна сопротивление снизилось на 15 %;

для крупнотоннажного транспортного судна с большой полнотой обводов при скорости 6 м/с с двумя ВИРД шириной 0,36 % от длины судна сопротивление снизилось на 14 %.

2. Поиск оптимальных размеров и места расположения ВИРД является предметом исследования, и в дальнейшем, после накопления достаточного опыта их проектирования можно будет разработать рекомендации для практического применения. Вопрос использования для этой же цели интерцепторов в ближайшее время планируется к рассмотрению.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Девнин, С. И.** Характеристики плохобтекаемых тел [Текст] / С. И. Девнин // Аэрогидромеханика плохобтекаемых конструкций. – Л., 1983. – С. 335.
- [2] **Новака, Г. М.** Ходкость [Текст] / Г. М. Новака // Справочник по катерам, лодкам и моторам. – Л., 1982. – С. 29.
- [3] **Шлихтинг, Г.** Влияние шероховатости стенки на переход ламинарного течения в турбулентное [Текст] / Г. Шлихтинг // Теория пограничного слоя. – М., 1974. – С. 488.
- [4] Aerodynamic characteristic and flow pattern on dimples structure of a sphere [Text] / Katsumi Aoki, Koji Muto, Hiroo Okanaga, Yasuki Nakayama. – Flucome, 2009.

© Ю. М. Король, Ю. С. Боднарчук

Надійшла до редколегії 05.06.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК

д-р техн. наук, проф. В. О. Некрасов