

УДК 532.528

РАБОТА РУЛЯ НА ГЛИССИРУЮЩЕМ КОРПУСЕ

Ю. Н. САВЧЕНКО, Ю. Д. ВЛАСЕНКО, Г. Ю. САВЧЕНКО

Институт гидромеханики НАН Украины, Киев

03680 Киев–180, МСП, ул. Желябова, 8/4

e-mail: office@hydromech.com.ua

Получено 20.04.2015

Исследуется величина боковой силы на глиссирующем корпусе в зависимости от угла перекадки руля α . В экспериментах на гидродинамической трубе использовались корпуса круговой цилиндрической формы и серия рулей прямоугольной формы малого удлинения с клиновым профилем сечения. Представлены результаты зависимости боковой силы $F_y(\alpha; \lambda)$ от угла перекадки руля $\alpha = 0 \div 25^\circ$ и удлинения руля $\lambda = l/h = 1 \div 0.2$ для чисел Фруда $Fr \gg 3$, где наблюдается появление режима рикошетирующего глиссирования. Отмечено снижение эффективности рулей малого удлинения в области $\lambda < 0.4$ и появление зон потери управляемости в области малых углов перекадки $\alpha < 3 \div 13^\circ$.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: глиссирование, руль, гидродинамические силы

Досліджується величина бічної сили на глісуючому корпусі залежно від кута перекадання руля α . У експериментах на гідродинамічній трубі використовувалися корпуси кругової циліндрової форми і серія рулей прямокутної форми малого подовження з клиновим профілем перерізу. Представлено результати залежностей бічної сили $F_y(\alpha; \lambda)$ від кута перекадання руля $\alpha = 0 \div 25^\circ$ і подовження руля $\lambda = l/h = 1 \div 0.2$ для чисел Фруда $Fr \gg 3$, де відзначається поява режиму рикошетного глісування. Відмічено зниження ефективності рулей малого подовження в області $\lambda < 0.4$ і поява зон втрати керованості в області малих кутів перекадання $\alpha < 3 \div 13^\circ$.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: глісування, руль, гідродинамічні сили

The lateral force value on a planing hull is researched in dependence on the fin transposition angle – α . In experiments at the hydrodynamic tunnel the hulls having a circular cylindrical shape and series of fins having a rectangular shape with the small aspect ratio and with the wedge type of a section were used. Results of dependencies of the lateral force $F_y(\alpha; \lambda)$ on the fin transposition angle $\alpha = 0 \div 25^\circ$ and fin aspect ratio $\lambda = l/h = 1 \div 0.2$ are given for the Froude numbers $Fr \gg 3$, where appearance of the ricochet planing regime is observed. Reduction of efficiency of the fins with the small aspect ratio in the area $\lambda < 0.4$ and appearance of zones of loss of controlability in the area of small fin transposition angles $\alpha < 3 \div 13^\circ$ are discovered.

KEY WORDS: planing, fin, hydrodynamic forces

ВВЕДЕНИЕ

Режим обтекания рулей и их гидродинамические характеристики непосредственно зависят от режима обтекания корпуса судна. С повышением скорости движения судов по водной поверхности характер взаимодействия корпуса с водой изменяется. С повышением скорости доля гидродинамических сил поддержания начинает превышать гидростатические силы и судно переходит в режим глиссирования [1]. В теории судов наступление режима глиссирования отмечают выполнением неравенства [2]

$$Fr_D > 3, \quad (1)$$

где $Fr_D = V / \sqrt{g \sqrt[3]{D}}$ – число Фруда по водоизмещению судна D [м³].

При этом доля гидродинамических сил превышает 95%, а на долю гидростатических остается менее 5%.

Дальнейшее повышение скорости приводит к сокращению площади контакта корпуса с водой и переходу гидродинамической силы глиссирования к

рикошетированию, где контакт с водой приобретает характер периодических ударов.

Такой режим движения называют рикошетирующим глиссированием. Он появляется при движении гоночных скутеров по волнам, взлете и посадке гидросамолетов и суперкавитационном движении при периодическом рикошете корпуса от стенок суперкаверны [3].

Число Фруда при этом может достигать 1700, а скорость – сотен и тысяч метров в секунду.

При работе рулей на больших скоростях появление суперкавитационных режимов обтекания делается неизбежным, поэтому естественным становится использование клинового профиля, который обеспечивает стабильность гидродинамических характеристик по углу перекадки и прочность [4].

Перекадка руля на глиссирующем корпусе вызывает такие явления, как подпор и кренящие моменты, что изменяет посадку и крен корпуса в повороте. Эти явления недостаточно изучены в литературе, но очень важны, так как именно неучтенные силы взаимодействия руля и корпуса в

повороте служат причиной потери управляемости, переворота и аварий на режиме рикошетирующего глиссирования.

Поэтому цель данной работы – исследование суммарной боковой силы, действующей на комплекс "руль-корпус" при перекладке руля на угол α .

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ НА РУЛЕ ГЛИССИРУЮЩЕГО КОРПУСА В СУПЕРКАВЕРНЕ

Особенностью работы руля в суперкаверне является его расположение в нижнем пятне контакта глиссирующего цилиндра с поверхностью суперкаверны. Установка руля вплотную к криволинейному корпусу цилиндра обуславливает сильное взаимодействие с корпусом. Это взаимодействие проявляется в появлении перепада давления на корпусе и может быть учтено в увеличении удлинения λ в приближенных формулах [5, 6] для коэффициентов гидродинамических сил пластины в неограниченной жидкости:

сплошное обтекание

$$C_y = \frac{\pi}{2} \alpha \lambda, \tag{2}$$

кавитационное обтекание

$$C_y = \frac{\pi}{5} \alpha \lambda, \tag{3}$$

$$C_x = \frac{C_y^2}{\pi \lambda}.$$

Схема экспериментальной установки для моделирования работы руля на глиссирующем корпусе по поверхности суперкаверны показана на рис. 1. На схеме половинка суперкавитирующей модели 1

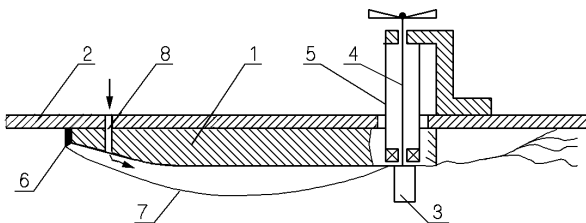


Рис. 1. Схема эксперимента:

- 1 – модель, 2 – крышка рабочего участка гидротрубы, 3 – руль, 4 – вал поворота руля, 5 – корпус тензометра, 6 – кавитатор, 7 – каверна, 8 – канал подачи воздуха в каверну

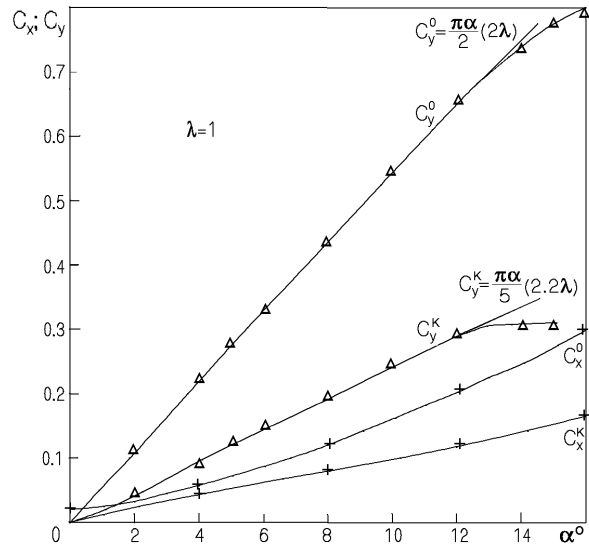


Рис. 2. Графики коэффициентов гидродинамических сил C_x^0, C_y^0 , действующих на руль с удлинением $\lambda = 1$ при перекладке на угол α° в сплошном обтекании; C_x^K, C_y^K – в кавитационном обтекании

установлена на верхней крышке 2 рабочего участка гидротрубы. Руль 3 закреплен на валу 4 внутри двухкомпонентного тензометра 5 с возможностью поворота на угол α и измерения двух компонент гидродинамической силы P_x, P_y .

Размеры каверны можно регулировать выбором кавитатора 6 и поддува воздуха в каверну 7 через канал 8.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Результаты эксперимента представлены графиками на рис. 2, где показаны коэффициенты гидродинамических сил для одного из серии прямоугольных рулей клинового профиля $\lambda = 1$:

$$C_x = \frac{P_x}{\frac{\rho V^2}{2} S}; \quad C_y = \frac{P_y}{\frac{\rho V^2}{2} S}, \tag{4}$$

где P_x, P_y – компоненты боковой и продольной составляющих гидродинамической силы; ρ, V – плотность и скорость воды в канале; $S = hL$ – площадь руля.

На рис. 3 графически представлена производная коэффициентов гидродинамической силы по углу атаки α : $C_x^\alpha(\lambda); C_y^\alpha(\lambda)$.

Графики сил C_x, C_y на рис. 2 показывают предел применимости формул (2), (3) линейной теории.

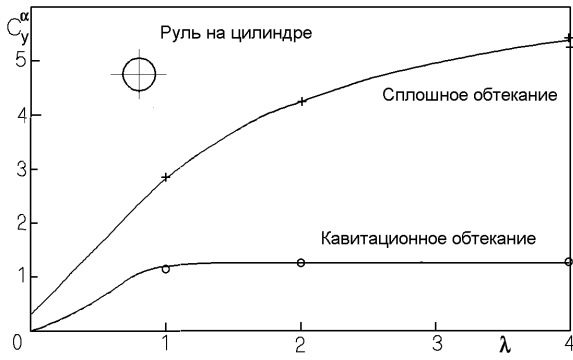


Рис. 3. Зависимость производной гидродинамической силы по углу атаки C_y^α от удлинения руля λ

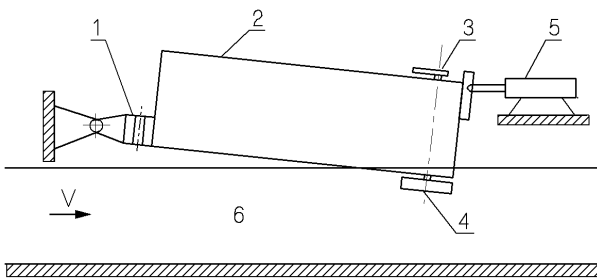


Рис. 4. Схема эксперимента:
1 – шарнир крепления модели, 2 – корпус модели, 3 – рычаг перекладки руля, 4 – руль, 5 – тензометр бокового усиления на корпусе

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОЙ БОКОВОЙ СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА КОМПЛЕКС "РУЛЬ – КОРПУС"

Особенностью исследования является определение суммарной силы на комплексе "руль-корпус". Установка руля вплотную к криволинейному корпусу цилиндра обуславливает сильное взаимодействие с корпусом. Это взаимодействие проявляется в повышении силы воздействия на руль под влиянием стенки и появления перепада давления на корпусе при повороте руля.

Сложность расчета суммарной боковой силы обусловила необходимость проведения специального эксперимента в гидродинамической трубе на серии рулей малого удлинения, установленных на глиссирующем цилиндре.

Схема эксперимента показана на рис. 4, где на поверхности потока воды в рабочем участке гидротрубы b установлен глиссирующий цилиндр 2 на двойном шарнире 1 . Руль 4 закреплен на вертикальной оси с измерителем поворота руля 3 . Изме-

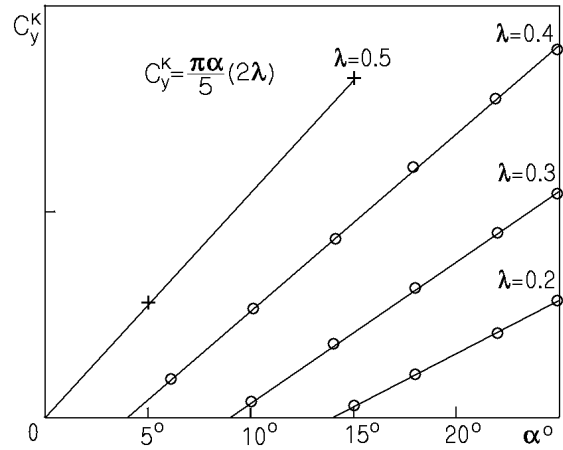


Рис. 5. Зависимость коэффициента боковой силы руля корпуса от угла перекладки α^o для различных $\lambda = 0.2 \div 0.5$

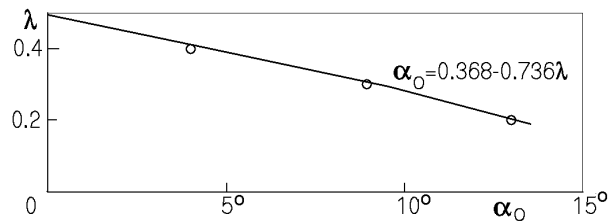


Рис. 6. Зависимость величины зоны потери управляемости α_0 от удлинения

ритель бокового усилия F_k 5 размещен на стенке рабочего участка гидродинамической трубы.

В эксперименте испытывались три руля одинаковой хорды $h_{fb} = 50$ мм и различного размаха $l_{fb} = 10; 15; 20$ мм, установленные на концевом глиссирующем участке цилиндра диаметром $D = 273$ мм. Максимальный угол отклонения был $\alpha_{\lambda max} = 25^\circ$.

Результаты эксперимента представлены на рис. 5, где по оси Ox отложен угол отклонения руля в градусах, а по оси Oy – коэффициент подъемной силы C_y . На графике видно, что зависимости $C_y(\lambda\alpha)$ близки к линейным. Видно также образование зоны потери управляемости по углу отклонения α_0 , которая увеличивается с уменьшением удлинения λ .

На рис. 6 представлен график зависимости величины зоны α_0 от удлинения λ , который можно аппроксимировать выражением

$$\alpha_0 = 0.368 - 0.736\lambda. \quad (5)$$

С учетом линейности зависимостей $C_y(\lambda, \alpha)$ (рис. 5) и зависимости $\alpha_0(\lambda)$ (5) коэффициент бо-

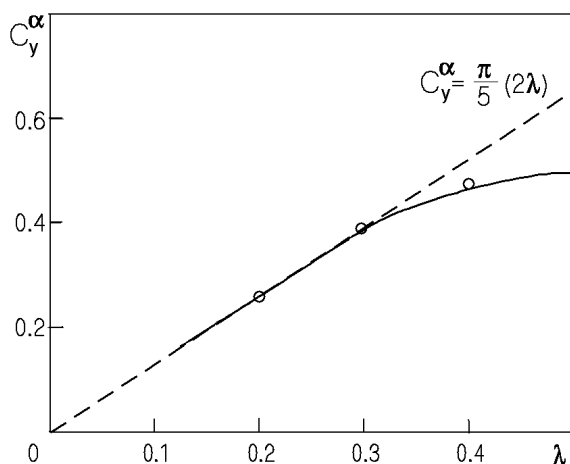


Рис. 7. Зависимость производной коэффициента боковой силы C_y^α от удлинения,

$$C_y^\alpha = \frac{\pi}{5}(2\lambda) - \text{теория [2]}$$

ковой силы $C_y(\lambda, \alpha)$ можно записать в виде

$$C_y = C_y^\alpha(\alpha - 0.368 + 0.736\lambda). \quad (6)$$

Производная коэффициента боковой силы по углу поворота C_y^α изображена на рис. 7. Штриховой линией для сравнения показана теоретическая зависимость $C_y^\alpha(\lambda)$, полученная из (3).

ВЫВОДЫ

Гидродинамические силы на изолированном руле при сплошном обтекании соответствуют результатам линейной теории для обтекания крыла у твердой стенки. При этом линейная зависимость $C_y(\alpha)$ сохраняется до $\alpha = 12^\circ$, а коэффициент влияния корпуса при λ равен 2.

При суперкавитационном обтекании отмечается некоторое повышение коэффициента влияния корпуса до 2.2. Это может происходить за счет повышения местной скорости обтекания руля при наличии выпуклой суперкаверны на корпусе.

Отмечено сохранение линейности $C_y(\alpha)$ до $\alpha = 12^\circ$.

В экспериментах по измерению боковой силы на комплексе "руль-корпус" отмечалось появление зон потери управляемости по α до некоторых значений $0^\circ < \alpha_0 < 13^\circ$, увеличивающихся со снижением удлинения руля от $\lambda = 0.5$ до $\lambda = 0.2$.

По-видимому появление зон потери управляемости связано с сокращением замыва корпуса при $Fr > 30$ и восстановлением подпора при повороте руля на угол α_0 .

1. Савченко Г.Ю. Глиссирование цилиндра в суперкаверне // Прикладная гидромеханика.– 2013.– Т.17 (№3).– С. 26 - 35.
2. Войткунский Я.И., Першитц Р.Я., Титов И.А. Справочник по теории корабля.– Л.: Судпром, 1960.– 688 с.
3. Савченко Ю.М., Власенко Ю.Д., Семененко В.М. Экспериментальные исследования высокоскоростных кавитационных течений // Гидромеханика.– 1998.– Вып. 72.– С. 103 - 111.
4. Савченко Ю.М., Семененко В.М. Розривні гідродинамічні характеристики органів керування, що обтікаються з відривом струменів // Прикладна гидромеханика.– 2013.– Т.17 (№3).– С. 26 - 35.
5. Tulin M.P. Supercavitating Flow Past Slender Delta Wing // Journal of Ship Research.– 1959.– Vol. 3, №3.– P. 1–6.
6. Kiceniuk T. Experiments on Slender Delta Wings in Supercavitating Flow // Journal of Ship Research.– 1967.– Vol. 11, №1.– P. 1–6.