

1. Застосування рівняння Бернуллі до пояснення впливу перешкод на рух суден [Текст]/Ю.К. Івашина, О.М.Кулешова, А.О. Гамелаурі // XXIV Междунар. научн. конф., 26-27 апреля 2017 г., Переяслав-Хмельницький. // Сб. научных трудов - Переяслав-Хмельницький, 2017. - Вып. 4(24), ч. 4 – С.36-40.

УДК: 629.5

Технічні науки

Івашина Юрій Кирилович,

Кулешова Олена Михайлівна,

Гамелаурі Алла Олександрівна

Морський інститут

післядипломної освіти імені

контр-адмірала Ф.Ф.Ушакова

РІВНЯЗАСТОСУВАННЯ РІВНЯННЯ БЕРНУЛЛІ ДО ПОЯСНЕННЯ ВПЛИВУ ПЕРЕШКОД НА РУХ СУДЕН

Анотація. *Перешкоди порушують симетричність обтікання корпусу судна. Це призводить до дії сил тиску на корпус, виникнення яких пояснено на основі рівняння Бернуллі.*

Ключові слова: *рух суден, перешкоди, дія на судно, рівняння Бернуллі.*

Ivashina Yuri,

Kuleshova Elena,

Hamelauri Alla

Admiral Ushkov Maritime institut

Applying Bernoulli's equation to explain the impact of interference on the movement of ships

Abstract. *Obstacles violate the symmetry of the flow around the hull. This leads to the effect of pressure on the hull, the occurrence of which is explained on the basis of Bernoulli's equation.*

Keywords: *traffic, obstacles, effect on the ship, Bernoulli's equation.*

При русі суден, на шляху яких зустрічаються перепони (берега, мілини, судна, що рухаються паралельним курсом) порушується симетричність обтікання корпусів по різних бортах. Це призводить до виникнення небажаних ефектів, які викликають зміну положення судна в просторі. Метою роботи є пояснення цих небажаних ефектів і оцінка величини сили, яка діє на корпус судна.

20 вересня 1911 р пасажирський лайнер «Олімпік», однотипний з відомим „Титаніком“, проходив по фарватеру зі швидкістю 15 вузлів із порту Саутгемптон (Англія) до острова Уайт, здійснюючи рейс через Атлантику до Америки. Близько полудня за кормою лайнера на відстані 3,5 миль було помічено крейсер «Хоук», який йшов тим же курсом зі швидкістю 16 вузлів. Крейсер наближався до лайнера практично паралельним курсом. В той час, коли носова кінцівка крейсера вийшла на траверз корми «Олімпіка», відстань між бортами суден була приблизно 100 м. Але несподівано крейсер різко розвернуло ліворуч, за кілька секунд його ніс зник під кормовим розвалом лайнера й кораблі зіштовхнулись. Через два місяця після аварії суднохідна компанія «Уайт стар лайн» звинуватила командира крейсера командора Бланта в тому, що його корабель таранив пасажирський лайнер. Але командир крейсера і члени екіпажу, які знаходилися на ходовому містку, підтвердили, що при виході носової кінцівки крейсера на траверз корми лайнера, «Хоук» несподівано розвернуло ліворуч і він зіштовхнувся з «Олімпіком». Ця аварія привернула увагу судноводіїв своєю незвичайністю, тому що цей факт не знаходив пояснень. Експертами була висловлена думка, що на судна, які знаходяться на траверзній відстані 100-150 м подіяли зовнішні сили, обумовлені гідродинамічною взаємодією корпусів суден, які виникають при їх русі.

Так уперше було зафіксовано явище гідродинамічної взаємодії суден при обгоні, яке називається явищем «присмоктування».

У 1913 р. в інституті кораблебудівельної архітектури Великобританії професори Гібсон і Томсон змодельовали цю аварію та виявили, що крейсер повинен був стати жертвою гідродинамічних сил присмоктування, якщо різниця в швидкостях обох суден була 10 %, та цей ефект мав бути і при траверзній відстані 370—400 м.

Подібна аварія сталася у часи другої світової війни 2 жовтня 1942 р, коли пасажирський лайнер «Куін Мері», який рухався зі швидкістю 30 вузлів, обганяв крейсер «Кюрасао» (швидкість 25 вузлів).

Розглянуті ефекти пояснюються за допомогою рівняння Бернуллі, згідно з яким в точках рідини, де швидкість більша, а тиск менший [1, с.47]. Але рівняння Бернуллі описує рух ідеальної рідини вздовж трубки потоку і розглядає зміну швидкості і тиску в різних точках однієї трубки. При русі судна ефект обумовлений зміною швидкості в різних трубках потоку, тобто не вздовж, а впоперек трубок.

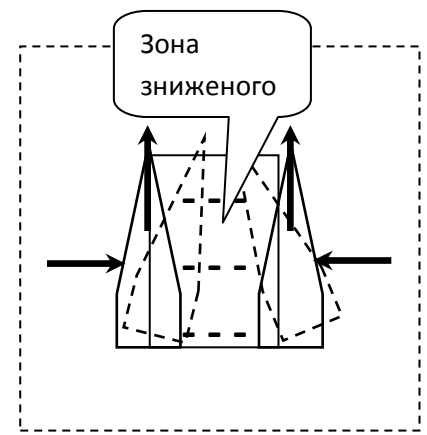


Рисунок 1 - Виникнення гідродинамічного «присмоктування» суден

При русі судна граничний шар води захоплюється корпусом. За рахунок сил внутрішнього тертя і лобового опору приводиться до руху більш віддалені від корпусу шари води, між якими існує різниця швидкостей.

Розглянемо дві сусідні трубки потоку, які лежать на одній глибині. В точці 0 тиск p_0 , $v=0$; В точці 1 - швидкість v_1 тиск p_1 , в точці 2 – відповідно v_2 і p_2 . Для першої трубки [2, с.97]:

$$p_0 = p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} \quad (1)$$

Для другої трубки:

$$p_0 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \quad (2)$$

Із (1) і (2) отримуємо:

$$p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2}(v_1^2 - v_2^2) \quad (3)$$

Рівняння (3) має вигляд рівняння

Бернуллі, є його наслідком, але записано для різних трубок і описує зміну тиску в поперечному для трубок напрямку. Поблизу корпусу, де швидкість води більша, тиск менший.

Оцінимо величину сили, що діє на корпус судна. Нехай довжина борту 50 м, осадка судна 6 м, швидкості шарів води поблизу корпусу 10 і 8 м/с по різних бортах. Рівнодійна сила тиску, що діє на корпус в поперечному напрямку в сторону більш швидкого руху води вздовж борту:

$$F = \Delta p S = \frac{\rho}{2}(v_1^2 - v_2^2) S = \frac{1}{2} 1000(10^2 - 8^2) 300 = 5,4 \text{ МН}$$

Застосуємо (3) до нерухомих перешкод.

Напишемо (3) в диференціальній формі:

$$dp = -\rho v dv \quad (4)$$

Швидкість зміни тиску в напрямку осі y:

$$\frac{dp}{dy} = -\rho v \frac{dv}{dy}, \quad (5)$$

де $\frac{dv}{dy}$ - градієнт швидкості в напрямку, перпендикулярному руху

судна.

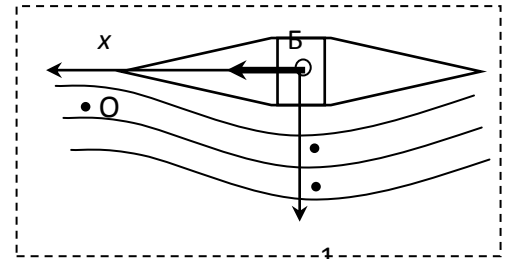


Рисунок 2 - Розташування трубок потоку відносно корпусу

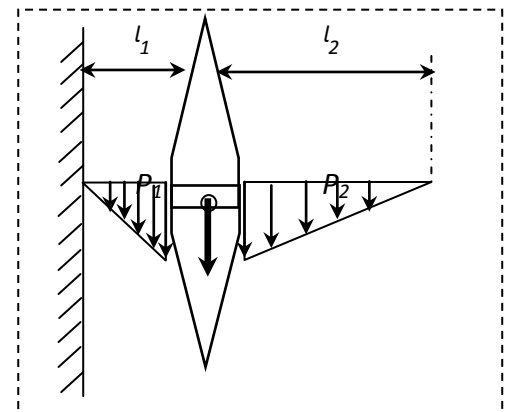


Рисунок 3 - Лінеаризовані епюри швидкостей шарів води в поперечному напрямку при наявності перешкоди

Різниця тисків між двома трубками, які знаходяться на відстані Δy :

$$\Delta p = -\rho v \frac{dv}{dy} \Delta y \quad (6)$$

При русі судна у відкритому водному просторі обтікання корпусу симетричні з обох бортів, тобто $\frac{dv}{dy}$ ліворуч та праворуч однакові, тому і результуюча сила тиску на корпус зліва і справа рівна нулю.

Розглянемо випадок, коли судно проходить біля стінки каналу. Прийmemo, що швидкість в поперечному напрямку змінюється лінійно, тобто $\frac{dv}{dy} = \frac{v}{\ell}$. Тоді із (6) отримаємо різницю тисків на борта корпусу на відстані Δy від корпусу:

$$p_2 - p_1 = \rho v^2 \left(\frac{1}{\ell_1} - \frac{1}{\ell_2} \right) \Delta y \quad (7)$$

Із (7) слідує, що різниця тисків і, відповідно, сила результуючого тиску на корпус судна, що направлена в поперечному напрямку в сторону нерухомої перешкоди залежить від швидкості судна v і відношення $\frac{\ell_2}{\ell_1}$. Це відношення вільного затухання швидкості шарів в поперечному напрямку у відкритому просторі ℓ_2 до аналогічної відстані до перешкоди ℓ_1 . Слід зазначити, що з ростом швидкості судна ℓ_2 зростає.

У випадку перешкоди – мілини також виникає несиметричність обтікання корпусу. Результуюча сила тиску на корпус направлена в сторону максимального поперечного градієнта

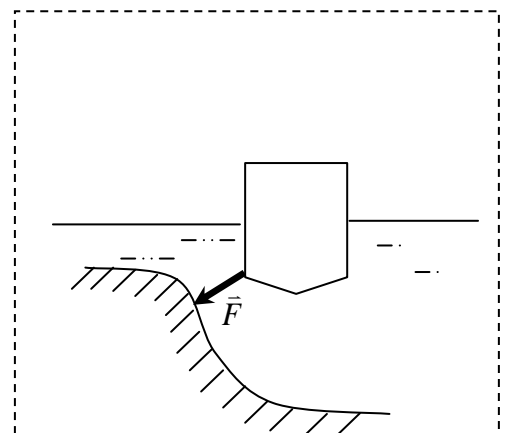


Рисунок 4 - Напрямок дії додаткової сили тиску, обумовленої мілиною, на корпус рухомого судна

швидкості. Це призводить до того, що судно зтягується на міліну.

Досвід судноводіння і наведені теоретичні викладки свідчать, що перешкоди на шляху рухомого судна суттєво впливають на його рух і призводять до небажаних маневрів. Величина сили, що діє на корпус внаслідок несиметричності його обтікання, обумовлена перешкодами залежить від квадрату швидкості судна і відстані до перешкоди, тому при наближенні до неї необхідно зменшувати швидкість і триматися якомога далі від перешкод. Даний приклад показує, що несиметричність обтікання корпусу судна, зумовлена перешкодами, викликає дуже великі сили, що діють на корпус судна та здатні призвести до аварійних ситуацій.

Судноводіям необхідно враховувати цей факт і при наявності перешкод суттєво зменшувати швидкість судна і збільшувати дистанцію до перешкоди.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Воробьев Ю.Л. Гидродинамика судна в стесненном форваторе – Л: Судостроение. 1992, 224 с.
2. Левицький Б.Ф., Лещій Н.П. Гідравліка Львів: Світ – 1994. 262 с.