

§ 25. СУДНОПЛАВСТВО ТА ПОВІТРОПЛАВАННЯ

? Сталь має густину, що більша від густини води, проте сталевий брусок у воді тоне, а сталеві судна плавають. А ще всі ми бачили, як важкі повітряні кулі здійснюються вгору і піднімають гондоли з пасажирами. Чому ж сталеві судна плавають у воді, а повітряні кулі називають апаратами, що легші за повітря? Отримати відповіді на ці запитання вам допоможуть знання про основи судноплавства та повітроплавання.

I З'ясуємо, чому плавають судна

На перший погляд, сталь не є придатною для виготовлення плавучого засобу: густина сталі набагато більша від густини води, тому сталева пластинка у воді тоне. Але якщо з пластинки зробити човник і покласти його на поверхню води, він плаватиме (рис. 25.1). Чому? Справа в тому, що занурена частина човника витісняє води достатньо, щоб архімедова сила зрівноважила силу тяжіння, яка діє на човник. Іншими словами, середня густина човника за раху-

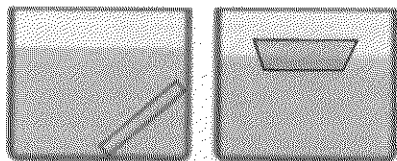


Рис. 25.1. Сталева пластинка тоне, а виготовлений з неї човник плаває

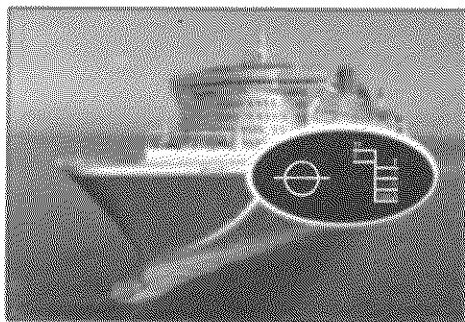


Рис. 25.2. Зазвичай корпус судна розфарбований так, що вище від ватерлінії корабель чорний або білий, а нижче — відповідно червоний або чорний. Біля самої ватерлінії обов'язково стоять позначки

нок повітря в його середині стає набагато меншою, ніж густина води. Тому човник плаває на поверхні води, лише трохи занурюючись.

Ця властивість лежить в основі конструкції всіх плавучих суден. Їхня середня густина набагато менша за густину води, і тому вони плавають на її поверхні, занурюючись на відносно невелику частину свого об'єму.

2 З'ясовуємо характеристики плавання суден

Коли нове судно спускають на воду, воно починає занурюватися в неї. Нижня частина судна починає витісняти воду, унаслідок чого виникає архімедова сила. Коли архімедова сила зрівноважує силу тяжіння, що діє на судно, воно перестає занурюватися. Глибина, на яку занурюється судно, називається *осадкою*.

Осадка судна буде змінюватися залежно від навантаження судна та від того, у річковій чи морській воді воно перебуває. Зрозуміло, що судно не можна перевантажувати. Найбільша осадка, за якої судно може безпечно плавати, зазначена на його корпусі спеціальною лінією — *ватерлінією* (рис. 25.2).

Коли судно повністю навантажене, то воно «сидить» у воді в рівень з ватерлінією. Значення архімедової сили за такої осадки називається *повною водотоннажністю* судна. Найбільші судна — танкери для нафти — мають водотоннажність до 5 млн кН,

тобто їхня маса з вантажем сягає 500 000 т. Якщо з повної водотоннажності виключити вагу самого судна, то ми отримаємо *максимальну вагу вантажу, який може прийняти на борт це судно*, тобто обчислимо *вантажопідйомність судна*.

Україна — морська держава, їй належить понад півтори тисячі кілометрів морського узбережжя. В країні є як морський, так і річковий флот, десятки портів, що мають велике економічне значення: Одеса, Керч, Бердянськ та інші; працюють десятки суднобудівних та судноремонтних заводів (у Миколаєві, Києві, Херсоні, Одесі тощо).

3 Дізнаємося, як здійснилася мрія людини літати

Люди вже давно використовують повітряні кулі, що здіймаються завдяки заповненню оболонки гарячим повітрям або легким газом.

На повітряну кулю в повітрі діє виштовхувальна сила. Через те що *середня густина повітряної кулі менша за густину повітря*, виштовхувальна сила більша за силу тяжіння, що діє на кулю. Різниця між виштовхувальною силою і силою тяжіння становить піднімальну силу повітряної кулі.

Повітряні кулі використовують для метеорологічних та інших досліджень, проведення змагань та перевезення пасажирів, туристичних та пізнавальних подорожей.

Повітряні кулі, наповнені легким газом (переважно гелієм), називають аеростатами. Останнім часом набули поширення повітряні кулі, які наповнені гарячим повітрям, — сучасні монгольф'єри (рис. 25.3). Високу температуру повітря всередині кулі підтримують газові пальники, встановлені в горловині повітряної кулі.

Оскільки густина повітря зменшується з висотою, повітряні кулі не можуть піднятися на яку завгодно висоту. Вони піднімаються тільки до тієї висоти, де густина повітря дорівнює середній густині кулі.



Рис. 25.3. Повітряні кулі, які здіймаються завдяки заповненню оболонки гарячим повітрям, і зараз звуться монгольф'єрами

4 Учимося розв'язувати задачі

Задача 1. У річковому порту судно прийняло на борт 1000 т вантажу, через що осадка судна збільшилася на 0,2 м. Якою є площа перерізу судна на рівні ватерлінії?

Дано:

$$m_{\text{вант}} = 1000 \text{ т} = 10^6 \text{ кг}$$

$$h = 0,2 \text{ м}$$

$$\rho_{\text{води}} = 1000 \text{ кг/м}^3$$

S — ?

Аналіз фізичної проблеми

Коли на судно помістили вантаж, воно збільшило осадку і додатково витіснило певний об'єм води.

Пошук математичної моделі, розв'язання

За законом Архімеда $P_{\text{води}} = P_{\text{вант}}$. Оскільки в цьому випадку $P = mg$, то $P_{\text{води}} = m_{\text{води}} g$; $P_{\text{вант}} = m_{\text{вант}} g$. Тобто $m_{\text{води}} = m_{\text{вант}}$.

Із визначення густини $\rho = \frac{m}{V}$ отримаємо об'єм додатково витісненої води:

$$V_{\text{води}} = \frac{m_{\text{води}}}{\rho_{\text{води}}} \Rightarrow V_{\text{води}} = \frac{m_{\text{вагт.}}}{\rho_{\text{води}}}. \quad (1)$$

Площу перерізу S можна обчислити через формулу об'єму шару води:

$$V_{\text{води}} = hS \Rightarrow S = \frac{V_{\text{води}}}{h}. \quad (2)$$

Підставимо формулу (2) у формулу (1):

$$S = \frac{m_{\text{вагт.}}}{\rho_{\text{води}} h}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[S] = \frac{\frac{\text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}}}{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}}} = \text{м}^2.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{S\} = \frac{10^6}{1000 \cdot 0,2} = 50; \quad S = 50 \text{ м}^2.$$

Відповідь: площа перерізу судна на рівні ватерлінії дорівнює 50 м^2 .

Задача 2. Повітряна куля на висоті 3 км припинила підніматися. Якою є густина повітря на цій висоті, якщо об'єм кулі становить 600 м^3 , а маса оболонки кулі, газу всередині та гондоли разом дорівнює 540 кг ?

Дано:

$$V_{\text{кул}} = 600 \text{ м}^3$$

$$m_{\text{кул}} = 540 \text{ кг}$$

$$\rho_{\text{повітря}} = ?$$

Аналіз фізичної проблеми

Якщо повітряна куля припинила підніматися, то це означає, що густина кулі зрівнялася з густиною навколишнього повітря.

Пошук математичної моделі, розв'язання

$$\left. \begin{aligned} \rho_{\text{кул}} &= \rho_{\text{повітря}} \\ \rho_{\text{кул}} &= \frac{m_{\text{кул}}}{V_{\text{кул}}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \rho_{\text{повітря}} = \frac{m_{\text{кул}}}{V_{\text{кул}}}.$$

Перевіримо одиницю: $[\rho_{\text{повітря}}] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{\rho_{\text{повітря}}\} = \frac{540}{600} = 0,9; \quad \rho_{\text{повітря}} = 0,9 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Відповідь: густина повітря на висоті 3 км становить $0,9 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$

- Контрольні запитання**
1. Що можна сказати про середню густину судна?
 2. Що таке осадка судна і якою лінією вона позначається на корпусі судна?
 3. Що таке повна водотоннажність? вантажопідйомність?
 4. Як змінюється осадка судна у разі зміни вантажу та густини води, у якій перебуває судно (наприклад, унаслідок переходу з моря в річку)?
 5. Що таке піднімальна сила повітряної кулі?
 6. Чим обмежена максимальна висота підняття повітряної кулі?

Вправа № 25

1. Чи буде змінюватися виштовхувальна сила, яка діє на судно, коли воно переходить із річки в море? Чи зміниться осадка судна?
2. Який максимальний вантаж можна перевезти на плоту, якщо маса плоту дорівнює 100 кг, а об'єм становить 1 м³?
3. Повітряна кулька масою 100 г натягує нитку, на якій утримується, із силою 1 Н. Обчисліть архімедову силу, що діє на кульку.
4. Занурене в прісну воду судно витісняє воду об'ємом 15 000 м³. Чому дорівнює вага вантажу, якщо вага порожнього судна становить 5 000 000 Н?
5. Судно в річці витісняє воду об'ємом 20 000 м³. На скільки зміниться об'єм води, що витісняє судно, внаслідок переходу судна з річки до моря?
6. Об'єм оболонки повітряної кулі дорівнює 400 м³. Куля натягує трос, яким прикріплена до причальної щогли, із силою 800 Н. Після звільнення троса куля піднімається до деякої висоти. Якою є густина повітря на цій висоті?
- 7*. Густина повітря поблизу поверхні Землі дорівнює 1,2 кг/м³. Якою має бути густина теплого повітря всередині повітряної кулі, щоб куля здійснюлася? Об'єм кулі становить 500 м³, маса оболонки й вантажу дорівнює 150 кг.

- Експериментальне завдання**
- Виготовте з пластикової пляшки човник і запустіть його в плавання у ванні. За допомогою солі та чайної ложки визначте вантажопідйомність вашого човна.



ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ
Миколаївське державне підприємство «Суднобудівний завод імені 61 комунара» — одне з найпотужніших суднобудівних об'єднань України. Підприємство має можливість будувати та ремонтувати військові та цивільні кораблі.

Вражають розміри підприємства: його виробничі потужності розташовані в більш ніж 450 промислових будівлях. Будівництво корпусів суден

виконується на трьох стапельних місцях, конструкція та обладнання яких дозволяє водночас із будівництвом корпусу виконувати монтаж механізмів. Стапельні місця дозволяють будувати корпуси суден масою до 20 000 тонн (!).

Серед продукції заводу останніх років можна назвати рефрижераторні судна, військові корвети, швидкісні патрульні катери.