

Лекція 3.

Опір середовища рухові тіла**1. Лобовий опір рухові тіла у повітряному та водному середовищі.**

Всі тіла на Землі переміщуються у воді або в повітрі. Середовище завжди чинить опір рухові. Дослідження показали, що опір середовища рухові тіл зменшується при зниженні площі їх поперечного перерізу перпендикулярно до напрямку руху, наближенні форми тіл до форми краплини, загладжування їх поверхні а також при зменшенні густини середовища (наприклад, повітря в високогір'ї, як у Мехіко чи Медео). Тому вираз для розрахунку лобового опору середовища рухові тіла \vec{R}_x входять: густина середовища ρ кг/м³, \vec{S}_x – лобова площа (переріз Міделя), м², c_x – коефіцієнт обтічності (який залежить від форми і стану поверхні тіла та змінюється для спортивних приладів у широких межах – від 0,05 до 2,5) і визначається експериментально в аеродинамічній трубі; та \vec{V}_x^2 – квадрат відносної швидкості переміщення тіла і середовища (враховується сила і напрямок вітру або течії), м/с :

$$\vec{R}_x = S_x \cdot c_x \cdot \rho \cdot \vec{V}_x^2 \quad [H]$$

(індекси "x" означають, що всі параметри вираховані відносно осі "X" - напрямку руху)

Так як густина води набагато перевищує густину повітря, опір рухові у воді значно більший, що і пояснює меншу швидкість плавання порівняно з іншими локомоціями.

Сила Архімеда визначає виштовхуючу дію середовища на тіло згідно закону Паскаля:

$$\vec{F}_{\text{арх}} = Q \cdot \rho \cdot \vec{g} \quad [H]$$

де Q – об'єм витісненого середовища (фактично – об'єм зануреного тіла), M^3 .

2. Сила тертя ковзання. Способи її збільшення і зменшення.

Сила тертя ковзання не залежить від площі опори і розраховується за формулою:

$$\vec{F}_{\text{тр}} = \vec{N} \cdot f_{\text{ковз}} \quad [H]$$

де $\vec{F}_{\text{тр}}$ – сила тертя ковзання, ;

\vec{N} – нормальна (перпендикулярна до поверхні ковзання складова притискаючої сили;

$f_{\text{ковз}}$ – коефіцієнт тертя ковзання.

Тертя спокою – максимальне значення сили тертя перед рушенням з місця – дещо більше за силу тертя ковзання; це пояснюється тим, що в момент "зриву" тіла з місця, руйнуються елементи мікропрофілю поверхонь контакту, що виникли під час їх взаємного встановлення.

Практика, залежно від специфіки рухового завдання, ставить перед нами два протилежні завдання:

а) *збільшити* силу тертя ковзання (для стартових дій, для утримання на криволінійних раєкторіях, для швидкої зміни швидкості руху, утримуванні предметів тощо);

б) *зменшити* силу тертя для полегшення взаємного ковзання (пересування по снігу, льоду, тертя в механізмах та ін.).

Враховуючи, що сила тертя залежить від двох показників – *притискаючої нормальної сили* та *коефіцієнта тертя*, можна досягнути вирішення кожного з вищеприведених завдань двома способами, змінюючи або притискаючу силу, або коефіцієнт тертя.

Розглянемо варіанти зміни притискаючої сили.

Притискаюча нормальна сила може бути представлена, як сума *сили тяжіння*, *сили інерції* (разом ці сили утворюють *вагу*) та *аеродинамічної* складової:

$$\vec{N} = m \cdot \vec{g} + m \cdot \vec{a} + \vec{F}_{\text{аер}} [H]$$

При пересуванні по криволінійній траєкторії змінювати притискаючу силу за рахунок зміни маси немає сенсу, так як її збільшення чи зменшення приведе до пропорційної зміни відцентрової сили. Тому використовують практику довантаження або розвантаження тіла за рахунок зміни сили інерції шляхом використання *випереджаючих стрибків* (наприклад, у гірськолижному спорті, де цей спосіб дозволяє змінювати притискаючу силу спортсмена до траси в різних фазах рухового акту у кілька разів), *поздовжнього “розхитування” біомеханічної системи* – наприклад, автомобіля або мотоцикла (яке досягається шляхом підгальмовування або підгазовування, і дозволяє долати конкретну ділянку таси з послідовним довантаженням-розвантаженням спочатку однієї, а потім – іншої осі). Якщо власна маса водія, або екіпажу співмірна з масою транспортного засобу, є

можливість реалізувати перерозподіл мас за осями шляхом переміщення людини відносно поздовжньої осі мотоцикла, велосипеда, човна, саней тощо (так-звані “відтяжки” назад, “насування” на переднє колесо у мотоспорті, поза велосипедиста чи мотогогонщика-трековика при виконанні стартових дій і ін.).

При швидкостях руху понад 10 м/С значну роль у збільшенні притискаючої сили можуть відігравати *аеродинамічні* ефекти. “Тунельний” або “щілинний” ефект полягає у взаємодії потоку набігаючого повітря з *днищем* автомобіля, човна, боба, саней чи інших приладів і *поверхнею траси*, внаслідок чого за рахунок різного *кліренсу* (просвіту) апарата по довжині та особливій формі днища виникає різниця швидкостей обтікання потоком “тунелю”, наслідком чого стає істотне розрідження, яке притискає транспортний засіб до траси. У практиці автомобільних перегонів формули-1 відомі конструкції з використанням потужних вентиляторів для охолодження розташованих горизонтально радіаторів системи охолодження, які попутно “відсмоктували” повітря з-під днища автомобіля, що згодом було заборонене технічною комісією ФІА, так як давало значну перевагу перед конкурентами при подоланні криволінійних ділянок траси.

У деяких випадках використовується притискаюча сила *антикрила* або цілої системи передніх і задніх антикрил з регульованими *закрилками*, що використовує *ефект підйомної сили* крила літака, перевернутого на 180 градусів. Про велике значення такої системи свідчить факт, що пілоти гонорчних мотоциклів, човнів, рекордних автомобілів тощо, припиняють заїзд при її мінімальному пошкодженні.

Коефіцієнт тертя можна *збільшити*, використовуючи *спеціальну форму поверхні* контакту (металеві *шпи* на автомобільних і мотоциклетних колесах для їзди по снігу і льоду, *шпи* на взутті футболістів, “шпівки” для легкої атлетики, спеціальна форма протектора на взутті і на шинах і ін.), або

спеціальні матеріали поверхні (поверхнево активна гума у складі автомобільних шин, підшви взуття для спортивних ігор тощо), які дозволяють за рахунок міжмолекулярної взаємодії поверхонь контакту одержувати теоретично неможливе значення коефіцієнта тертя, більшого за одиницю (наприклад, для спеціальних шин для “формул” $f_{\text{ковз}} = 1,2 - 1,6$). Лижники-гонщики, які використовують класичні лижні ходи, змащують колодки лиж (їх ділянки безпосередньо під стопрою, яка при навантаженні всього тіла на одну лижу за рахунок деформації лижі безпосередньо торкається поверхні снігу) спеціальною гальмуючою маззю, з метою ефективного відштовхування ногами.

Зменшення коефіцієнта тертя можливе за рахунок підвищення гладкості поверхонь до 6-го класу чистоти (полірування може призвести до взаємного молекулярного прилипання і задрів), та використання проміжного матеріалу між ними – мастил (змазки у лижному спорті, мастила з спеціальними додатками для механізмів і ін.). Температура полозів ковзанів, саней та бобів так само відіграє вагому роль у зменшенні коефіцієнта тертя з льодом траси, так як дозволяє їм ефективніше топити лід безпосередньо під полозом (вода виступає тут своєрідним “мастилом”). Для прикладу можна згадати, що один з санкарів, бажаючи перемогти будь-якою ціною, виступив на міжнародних змаганнях на санях з штучним підігрівом полозів від акумуляторних батарей, захованих на поясі, і показав феноменальний результат (цей факт було викрито, результат анульовано, і впроваджено процедуру обов’язкового вимірювання температури полозів саней і бобів до і після заїзду).

3. Гістерезис матеріалу. Опір коченню колеса.

Особливий інтерес викликає *опір коченню коліс*, який деколи невірно називають *тертям кочення* (такого явища в природі не існує).

Для нерухомого колеса розрахункова схема взаємодії сил показана на рис. 1 а): *пляма контакту колеса на поверхні дороги* показана нижче і має форму еліпса. Нижче показана також *епюра* (картина розподілу на площині контакту) контактних сил. Напрямок дії *рівнодійної* сили – реакції опору – проходить через центр плями контакту (вісь) колеса з покриттям опорної поверхні і врівноважує навантажуючу колесо силу:

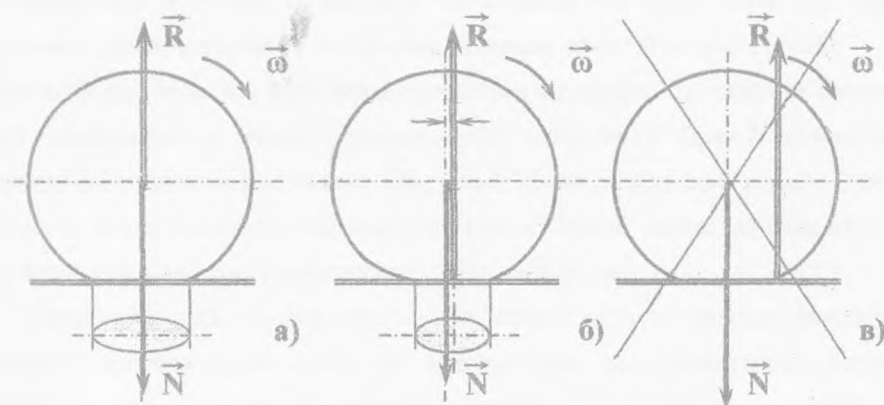


Рис. 1. Розрахункові схеми для визначення опору кочення колеса по горизонтальній поверхні: а) – в нерухомому стані; б) – при коченні колеса; в) – невірна розрахункова схема, що часто зустрічається в літературі.

При коченні колеса (що підтвердила швидкісна зйомка знизу процесу кочення колеса по прозорій поверхні), ділянки шини, які відриваються від дороги в задній частині плями контакту, за рахунок *демпфуючих* властивостей гуми та *гістерезисних втрат* (явище гальмування деформації матеріалу, яке супроводжується його нагрівом), не встигають повернутися у

початкове положення (шина приймає початкову форму не відразу, а через деякий невеликий проміжок часу), внаслідок чого *центр плями контакту* (лінія дії рівнодійної реакції опори) незначно зміщується вперед за напрямком руху центра колеса, що викликає *гальмівний момент* реакції опори відносно його осі обертання. Величина цього гальмівного моменту тим більша, чим товща шина, чим більший її прогин (тобто, гальмівний момент залежить від жорсткості шини і тиску повітря в ній).