

По-бързи от вятъра

Възможно ли е да се движим само с помощта на вятъра, но по-бързо от него? Обичайният ни (провинциален) опит би казал – „не“. Как така по-бързо от движещата ни сила? Но практиката показва друго – да, възможно е. Високотехнологичните катамарани AC72 от последното издание на Купата на Америка (2013) достигнаха скорости до 2,3 пъти по-високи от тази на вятъра, като рекордът за максимална скорост бе поставен от отбора на Нова Зеландия - 47.57 възла (88 km/h) при 21.8 възла скорост на вятъра (2.2 пъти скоростта на вятъра)¹.



Момент от надпреварата на титаните в последното издание на купата на Америка. Повдиганти на подводното крило, катамараните буквално летят над водата. В нетолкова далечното минало подобни скорости бяха немислими.

Снимка: Официална страница на Emirates Team New Zealand²

Т.нар. сухоземни яхти е известно, че достигат скорост до около 5-пъти по-висока от тази на вятъра, като рекордът за най-висока скорост е на сухоземната яхта Greenbird - 202,9 км/ч, при скорост на вятъра 48-80 км/ч³ (видео за рекорда⁴).

¹ http://www.americascup.com/en/34th-americas-cup/18416_day-14-preview-on-the-brink-of-history.html

² http://emirates-team-new-zealand.americascup.com/en/gallery/16_34th-Americas-Cup.html

³ <http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/7968860.stm>

⁴ <http://www.youtube.com/watch?v=TRFRQXPtXTs>



Greenbird при поставянето на световния рекорд 202,9 км/ч. Снимка: Peter Lyons⁵



SailRocket 2 най-бързият ветроходен съд в света – 68,33 възла моментна скорост (126,63 км/ч)
Информация и снимка⁶

⁵ <http://www.greenbird.co.uk/multimedia/images>

⁶ <http://sailracewin.blogspot.de/2013/04/audi-hamilton-island-race-week-worlds.html>



Sail Rocket 2, Снимка⁶

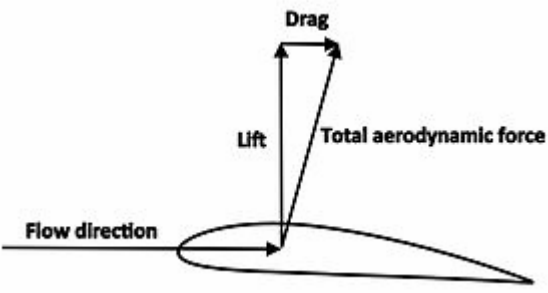


Френският тримаран на подводни криле l'Hydroptère, който през 2009 постави рекорд за най-висока средна скорост на ветроходен съд във вода в продължение на 500 м (51,36 възла = 95,11 км/ч). В следващите години световните рекорди бяха поставени от кайт-бордове, докато през 2012 Sail Rocket 2 зае лидерството на 500 м с 65,45 възла = 121,1 км/ч⁷. При поставянето на всички тези рекорди, съдовете са около 2 пъти по-бързи от движещия ги вятър.

⁷ http://en.wikipedia.org/wiki/Speed_sailing_record

В постигането на по-висока скорост от тази на вятъра няма никакво противоречие със законите на физиката и феноменът е напълно научно обоснован.

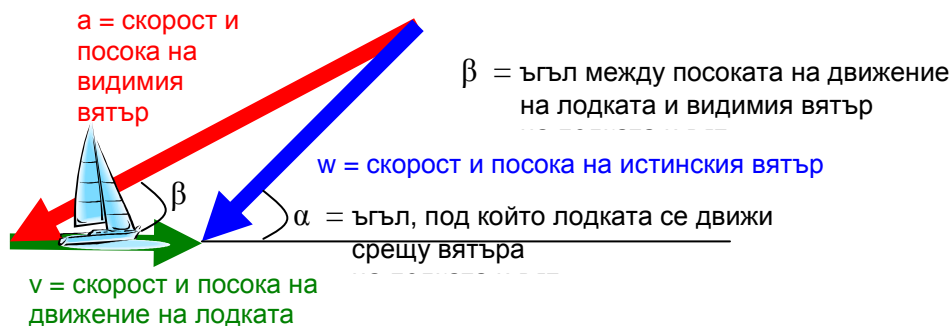
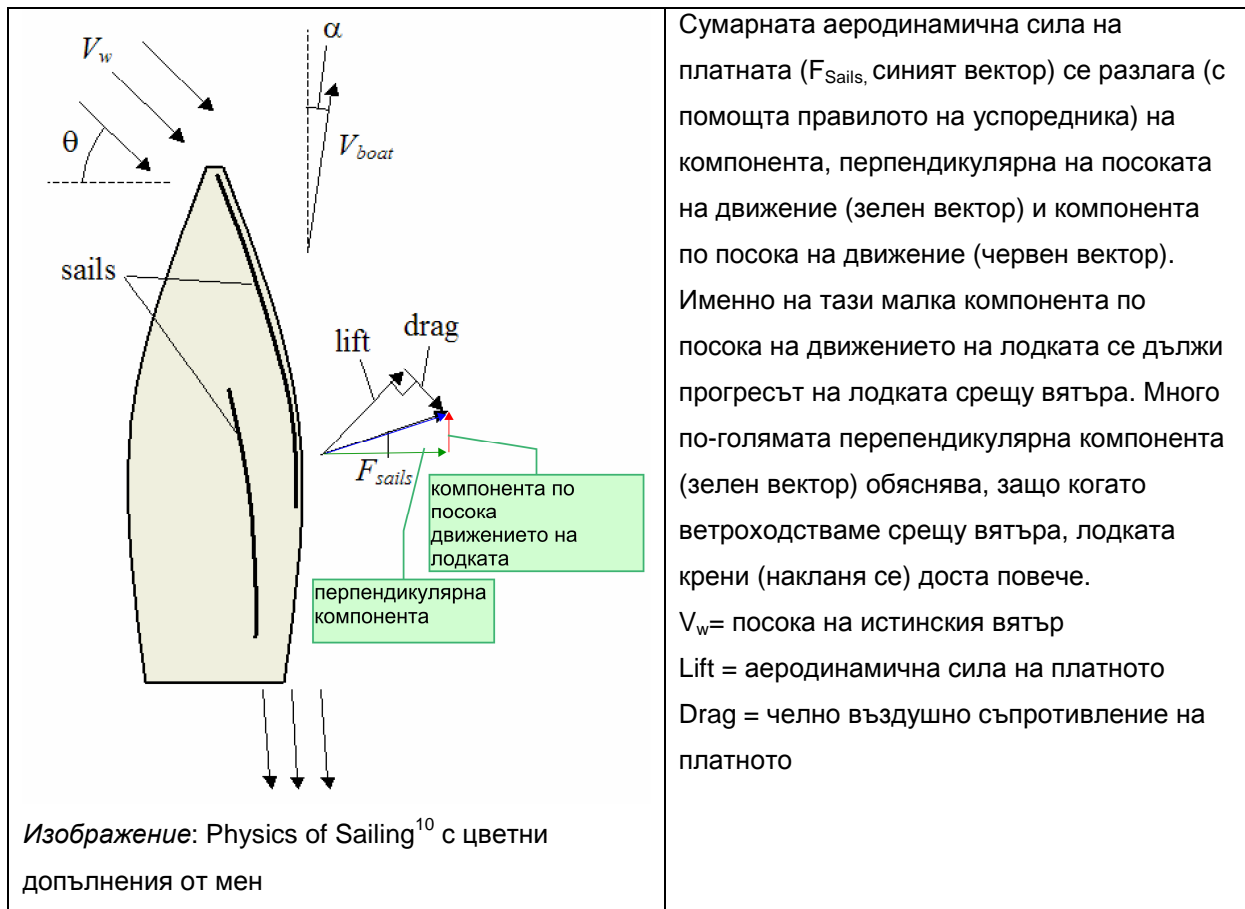
Да разгледаме ветроходна лодка, която се движи под остър ъгъл срещу вятъра (факт, отдавна известен от практиката, но със по-сложно физично обяснение). Когато се движим срещу вятъра, профилът на платното работи на същия принцип, както и крилото на самолет. Крилото и платното заради формата си имат при обдухване аеродинамична (подемна) сила, която се използва при самолетите, да ги държи във въздуха, а при лодките - да ги придвижва срещу вятъра. Платното може да се разгледа като вертикално крило.

	<p>Flow direction = посока на въздушния поток (видимия вятър, който обдухва платното)</p> <p>Lift = аеродинамичната сила на платното (винаги приблизително перпендикулярна на профила на платното)</p> <p>Drag = чело въздушно съпротивление на платното</p> <p>Total aerodynamic force = сумарна аеродинамична сила.</p> <p>Съотношението между подемна сила (Lift) и чело въздушно съпротивление (Drag) на образува ефективността на крилото.</p>
<p>Фиг. 1: Профил на крило или платно, погледнато отгоре (от върха на мачтата надолу). Източник: Wikipedia⁸</p>	

	<p>Твърдото крило на тримарана на BMW Oracle Racing, сравнено с крилата на самолетите Airbus 380 и Boeing 747.</p> <p>Снимка: Sailing World⁹</p>
---	---

⁸ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/thumb/a/a2/Airfoil_lift_and_drag.jpg/300px-Airfoil_lift_and_drag.jpg

⁹ <http://www.sailingworld.com/racing/undefined/racing/wing-sails-return-to-americas-cup>



С помощта на векторното смятане (дължината на вектора показва скоростта на лодката или вятъра, а посоката на вектора – съответно посоката на вятъра/движение на лодката) лесно може да се онагледят, какъв вятър чувства екипажът на лодката, когато движим срещу вятъра. От една страна вятърът духа под ъгъл (α) срещу нас (синият вектор), от друга страна ние самите се движим срещу вятъра (зеленият вектор) и резултатният, видим или вимпелен вятър, който усещаме (червеният вектор a) е реално по-силен, отколкото вятъра (w), който бихме чувствали, ако стоим на едно място. С други думи, колкото по-бързо се движим под известен

¹⁰ <http://www.real-world-physics-problems.com/physics-of-sailing.html>

ъгъл срещу вятъра, толкова по-силно ще се обдухваме не само ние, но и платната на лодката, които заради аеродинамиката си, създават сила за движение напред. Колкото повече лодката ускорява срещу вятъра, нараства видимият вятър, аеродинамичната сила се увеличава, това води до ново ускорение и т.н. Разбира се, този процес не е безкраен, а в определен момент аеродинамичното и хидродинамично съпротивление на лодката се изравняват с аеродинамичната сила на платната (и кила) и лодката достига определена максимална скорост. Тук има и още един интересен ефект – колкото по-бързо се движим срещу вятъра, толкова повече ни се струва, че вятърът духа срещу нас (ъгълът β намалява). И това действително е така, но не трябва да забравяме, че това е видимият вятър (w) (сума от истинския вятър и вятъра от движението на лодката), а не истинският вятър (v).

Интересно е да видим, от какво зависят аеродинамичната сила L на платното/крилото, аеродинамичното съпротивление F_B и хидродинамичното съпротивление F_H .

$L = \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 \cdot A_L \cdot C_L$	L = аеродинамична сила на платното (крилото) F_B = аеродинамично съпротивление на лодката F_H = хидродинамично съпротивление на лодката
$F_B = \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 \cdot A_B \cdot C_B$	ρ = плътност на флуида, в случая въздуха = 1,24 кг/м ³ ρ_1 = плътност на флуида, в случая водата = 1000 кг/м ³ v = скорост на видимия вятър
$F_H = \frac{1}{2}\rho_1 \cdot v_H^2 \cdot A_H \cdot C_H$	v_H = скорост на лодката спрямо водата A_L = площ на крилото A_B = челна площ на лодката (ветрила, корпус, рангоут) A_H = челна площ на подводната част C_L = коефициент на подемната сила на крилото C_B = коефициент на аеродинамичното съпротивление на лодката (ветрила, корпус и рангоут) C_H = коефициент на хидродинамично съпротивление

Интересно е да се забележи, че:

1. Формулата е една и съща и произтича от механиката на флуидите

Защо аеро-/хидродинамиката са изключително важни? Няколко примери с по-познатите ни превозни средства – автомобилите. Точно с горната формула от механиката на флуидите се изчислява например и въздушното съпротивление на колите¹¹. Съпротивлението расте с квадрата на скоростта, а мощността расте с третата степен на скоростта. Т.е. ако искаме вместо със 100 км/ч да се движим със 200 км/ч, двигателят трябва да приложи приблизително 8 пъти (2^3) по-голяма мощност, отколкото при 100 км/ч. Разходът (л/км) расте приблизително с квадрата на скоростта. При 120 км/ч, 2/3 от разхода на гориво е само за преодоляване на въздушното съпротивление.

¹¹ http://bg.wikipedia.org/wiki/Аеродинамична_форма

2. Подемната сила и силите на съпротивление растат с квадрата на скоростта на видимия вятър
3. Решаващи за скоростта на лодката са челните площи и съответните аеро-/хидродинамични коефициенти (коефициентите определят ефективността на ветрилото, крилото, кила).

При лодките хидродинамичното съпротивление расте много бързо с увеличаването на скоростта, защото водата има стотици пъти по-голяма плътност от въздуха. Това е една от причините класическите яхти да не могат да развиват особено големи скорости. Едва по-новите яхти, които са в състояние да излизат над водата и така да намаляват драстично хидродинамичното си съпротивление, са значително по-бързи. По този начин например катамараните AC72 от Купата на Америка са в състояние да достигат скорост по-висока от тази на вятъра.



Ветроходната лодка от типа Moth има подводно крило, което при определена скорост повдига цялата лодка над водата и тогава скоростта ѝ рязко се увеличава.



Сухоземните яхти нямат естествено подводна част, респективно голямо триене с повърхността, страничното им съпротивление е много голямо, в резултат на което развиват значителни скорости. Преодоляването на наклони, обаче, е проблем и затова се търсят равни терени (плажове, пустини, котловини). Снимка: Wikipedia¹²



Ето как французите се забавляват по плажа, когато не става за къпане. Снимка¹³

¹² http://en.wikipedia.org/wiki/Land_sailing

¹³ http://www.wallpaperdownloader.com/bing-wallpaper/images/name/LandSailing_20120710



Сухоземните яхти могат да се движат и върху лед, при което също съпротивлението с повърхността е много малко и това дава възможност да се развият скорости до около 5-пъти по-високи от тази на вятъра. Снимка: Sailing World¹⁴



Тази high-tech яхта на лед може да достигне 200 км/ч само с вятъра! Снимка и информация¹⁵

¹⁴ <http://www.sail-world.com/UK/Ice-sailing---for-those-who-cant-fly-to-the-Caribbean/79039>

¹⁵ <http://www.sailracing.com/stories/skeeter-sailing/>



Ето отново Greenbird, но този път на лед. За постигането на особено високи скорости класическото (меко, от плат) ветрило е заместено с твърдо крило, както при самолетите. Снимка: Telegraph¹⁶.



BMW Oracle Racing . Гротът (повисокото ветрило) е твърдо крило от две части. Снимка: Wikipedia¹⁷

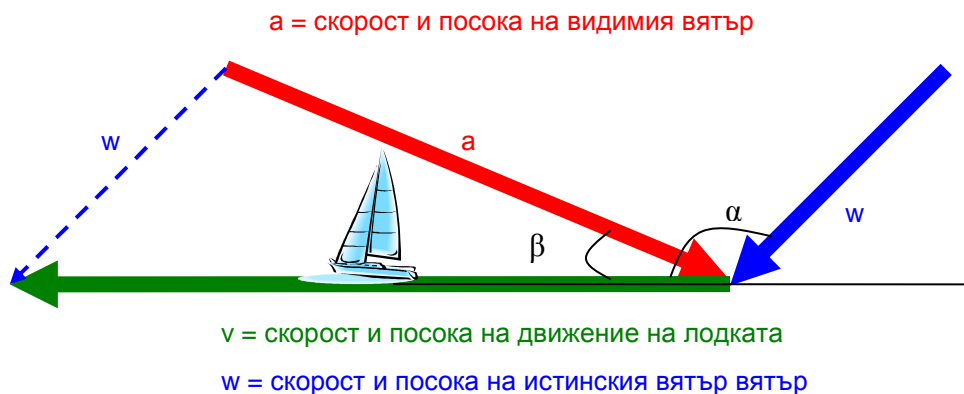
В 33-то издание на Купата на Америка (2010), главното платно (гротът) на тримарана на BMW Oracle Racing беше твърдо крило, а на защитника на купата – Alinghi – класическо, от плат (макар и high-tech). Твърдото крило на претендента BMW Oracle racing даде огромно конкурентно предимство и на практика не остави никакъв шанс Alinghi да защити купата. Крилото е аеродинамично по-ефективно от мекото ветрило, защото има по-ниско челно съпротивление (Drag) и коефициентът на подемната сила при крилото е $C_L \approx 2 - 2,5$, а при меките ветрила $C_L \approx 1,5 - 2$ ¹²

По тази причина за следващото издание на купата на Америка (2013) беше вече ясно, че гротовете ще са твърди ветрила (вертикално крило).

¹⁶ <http://www.telegraph.co.uk/sport/4126297/Greenbird-ice-yacht-Sailing-towards-a-miracle-on-ice.html>

¹⁷ <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0f/USA-17-flying-cropped.jpg/300px-USA-17-flying-cropped.jpg>

Когато високо-технологичните ветроходни лодки или сухоземни яхти се движат под тъп ъгъл α спрямо посоката на истинския вятър (курс бакцаг), се получава друг интересен феномен. Заради високата скорост, видимият вятър е не откъм гърба ни (образно казано), както бихме очаквали, а е отново насрещен (а), при това остър бейдевинд.



Т.е. дори при попътни курсове ($90^\circ < \alpha < 180^\circ$), настройката на ветрилата при тези свръхтехнологични лодки е като за насрещен курс, защото $\beta < 90^\circ$. Любопитно е, че при катамараните AC72 разликата в големината на ъгъла β при насрещни и попътни курсове е само 4° , т.е. настройката на ветрилата е почти винаги една и съща - като за остър бейдевинд, независимо на какъв курс се движим. Вероятно това би била пълната ветроходна радост за автора на интересната рубрика в „Морски вестник“ – „На остър бейдевинд с Георги Никлев“. И има защо!



Отборът на Emirates Team NZ и Luna Rossa по време на тренировки в Такапуна на 8-ми март, 2013. Ясно се вижда, как центровката на платната е като за остър бейдевинд, въпреки, че реално карат на бакцаг. Снимка: Richard Gladwell_© ¹⁸

Дай, Боже, някой ден и по нашето Черноморие да се радваме на подобни гледки, а защо не и да участваме в тях!

Доси Василев

¹⁸ <http://www.sail-world.com/UK/Americas-Cup:-AC72--at-Takapuna-Beach---First-reach-and-Downwind/107315>