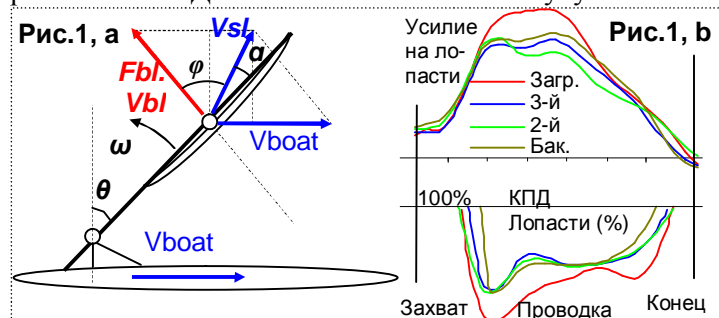


КПД лопасти весла и результативность

Ранее мы уже обсуждали продвигающий КПД лопасти (1, 3, НБГ 2007/12) и продолжаем обсуждение более подробно: что КПД означает и как его можно улучшить.



Позволим напомнить определение КПД лопасти весла Ebl в виде отношения мощностей (Рис.1, а):

$$Ebl = (Ptot - Pw) / Ptot \quad (1)$$

где $Ptot$ – общая мощность, производимая гребцом, Pw – мощность, потерянная на передвижение воды под веслом. Эти мгновенные мощности были определены:

$$Ptot = Fbl Vbl \quad (2)$$

где Fbl – усилие на лопасти, Vbl – скорость лопасти в системе координат лодки, и:

$$Pw = Fbl Vsl \cos \varphi \quad (3)$$

где Vsl – скорость сплывания лопасти относительно воды, φ – угол между векторами этой скорости и силой на лопасти Fbl . Угол φ является обратным к углу атаки a (полагая, что усилие перпендикулярно к оси лопасти):

$$\cos \varphi = \cos(90 - a) = \sin a \quad (4)$$

Объединяя уравнения 1, 2, 3, 4 вынося Fbl за скобки, мы получаем:

$$Ebl = (Vbl - Vsl \sin a) / Vbl = 1 - (Vsl \sin a) / Vbl \quad (5)$$

Затем, может быть использовано общее уравнение сопротивления движению в жидкости:

$$Fbl = k \rho A Vsl^2 \quad (6)$$

где A – площадь лопасти, ρ – плотность воды, k – объединенный коэффициент сопротивления лопасти, который зависит от формы лопасти и угла атаки (последний определяет соотношение коэффициентов подъемной силы и сопротивления, см. 2). Скорость сплывания лопасти может быть определена, как:

$$Vsl = (Fbl / (k \rho A))^{0.5} \quad (7)$$

Подставляя Vsl в уравнение 5, получаем:

$$Ebl = 1 - ((Fbl / (k \rho A))^{0.5} \sin a) / Vbl = 1 - \sin a / (k \rho A)^{0.5} * Fbl^{0.5} / Vbl \quad (8)$$

Это уравнение может быть полезно для ответа на вопрос: **Какие факторы влияют на КПД лопасти весла?**

1. КПД лопасти выше, когда угол атаки острее. При нулевом угле атаки $a=0$ (скорость сплывания лопасти параллельна ее оси), лопасть абсолютно эффективна ($Ebl=100\%$). Такое явление можно назвать «идеальным гидро-лифтом», когда векторы силы и скорости на лопасти перпендикулярны, и сопротивление и потери энергии равны нулю.
2. КПД лопасти выше, когда любой из сомножителей k , ρ , A возрастает: форма лопасти более эффективная ($k \uparrow$), и/или плотность воды выше ($\rho \uparrow$), и/или площадь лопасти больше ($A \uparrow$).

3. КПД лопасти выше, когда соотношение $Fbl^{0.5}/Vbl$ становится ниже, т.е. усилие на лопасти снижается, а скорость лопасти возрастает. Это обычно происходит в конце проводки (Рис.1, б), что объясняет рост кривой КПД, которое приближается к 100%, когда усилие снижается до нуля, т.е. гребец уже не тянет, а лопасть продолжает двигаться в воде. Когда сила на лопасти негативна ($Fbl < 0$), ее КПД не может быть определен через уравнение 8. Однако, из уравнения 1, КПД лопасти может быть выше 100%, когда Pw отрицательно. Это означает, что энергия не тратится на сдвиг воды, а забирается из него и добавляется к общей мощности гребца, что происходит, когда гребец тормозит лодку – «табанит».

Первые два пункта выше можно использовать для снижения количества энергии потерянной на сплывание лопасти, хотя плотность воды задается условиями, а шансы улучшить угол атаки, форму и размер лопасти довольно ограничены. Пункт 3 выше – достаточно противоречив:

- Отношение силы и скорости лопасти может быть изменено через передаточное отношение весла: например, при вдвое более длинном внешнем рычаге и постоянном внутреннем, усилие на лопасти снижается вдвое, а скорость на столько же возрастает. Однако, из усилия в уравнении 8 берется квадратный корень, так что отношение $Fbl^{0.5}/Vbl$ уменьшается, что объясняет, почему **КПД лопасти выше при более «тяжелом» передаточном отношении** (НБГ 2011/09).
- При одинаковом сплывании весла Vsl , его скорость Vbl (относительно лодки) прямо пропорциональна скорости лодки. Уравнение 8 объясняет, почему **КПД лопасти выше в крупных быстрых лодках** (3), хотя реальное сплывание весла одинаково.
- Увеличение КПД лопасти за счет снижения усилия не имеет смысла, поскольку это снижает общую и продвигающую мощность – главную задачу в гребле. **В команде, сильнейший гребец обычно имеет самый низкий КПД лопасти, и наоборот** (Рис.1, б). Поэтому, корреляция между средним усилием и КПД лопасти в команде – отрицательная ($r = -0,48$).

В заключение: В имеющемся определении, **продвигающий КПД лопасти может ограниченно использоваться для оценки качества инвентаря и мастерства владения веслом гребца, но лишь при постоянных усилиях и скорости**. Должна быть определена другая мера комбинированной результативности работы лопасти весла.

Литература

1. Affeld, K., Schichl, K., Ziemann, A. (1993). Assessment of rowing efficiency. International journal of sports medicine, 14, S39-S41.
2. Caplan N., Gardner T., (2006) A fluid dynamic investigation of the Big Blade and Macon oar blade designs in rowing propulsion. Journal of Sports Sciences, 1 – 8
3. Kleshnev V. (1999) Propulsive efficiency of rowing. In: Proceedings of XVII International Symposium on Biomechanics in Sports, Perth, Australia, p. 224-228.

* ©2012 Валерий Клешинев, www.biorow.com