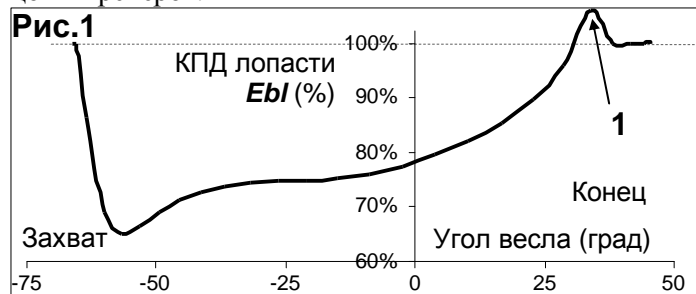


Лопасть весла, как реактивный двигатель

Мы уже обсуждали КПД лопасти весла несколько раз (НБГ 2006/06, 2007/12, 2012/06), но до сих пор не удовлетворены пониманием этого важного параметра. Ранее, КПД лопасти *Ebl* было определено, как отношение пропульсивной мощности *Pprop* к мощности гребли *Prow*:

$$Ebl = Pprop / Prow = (Prow - Pw) / Prow \quad (1)$$

где *Pw* – мощность потерянная на сдвиг воде, когда весло «проскальзывает» через нее. Рис.1 показывает типичную кривую КПД весла в одиночке при темпе 32 гр/мин. Похоже, что КПД возрастает к концу проводки и становится даже выше 100%, что сбивает с толку гребцов и тренеров.



Новая идея появилась во время Украинского семинара по гребле в Киеве после краткого разговора с авиационным инженером, который спросил: «Работает ли лопасть, как реактивный двигатель, или как колесо». Похоже, что первый вариант – правильный ответ, поскольку невозможно двигаться по воде, не сдвигая ее назад.

В авиации и ракетостроении, удельный импульс *Isp* является основным способом описания эффективности реактивных двигателей. Он представляет силу тяги *Ftrust* по отношению к массе выброшенного топлива *m* за единицу времени *t*.

$$Isp = Ftrust / (g m / t) \quad (1)$$

где *g* – ускорение свободного падения. *Isp* зависит от скоростей выброса газов *Vg* и самолета/ракеты *V*:

$$Isp = (Vg - V) m / t \quad (2)$$

КПД всего аппарата *E* также зависит от *Vg*:

$$E = 2 / (1 + Vg / V) \quad (3)$$

КПД и удельный импульс обратно зависимы. На старте взлетной полосы, КПД самолета равно нулю, поскольку его скорость равна нулю, но тяга двигателей и удельный импульс при этом максимальны. Когда самолет разгоняется, его КПД повышается и становится равным 100%, если его скорость сравняется со скоростью истечения газов, но тяга и удельный импульс при этом будут равны нулю. Поэтому, конструкция реактивного двигателя – это баланс между его КПД и тягой.

Похожие явления происходят в гребле: в захвате, скорость системы лодка-гребец наименьшая, а затем она возрастает во время проводки. Поэтому, пропульсивная мощность возрастает, поскольку она - произведение силы тяги и скорости ЦМ системы. Это выглядит, как повышение КПД весла в конце проводки, которое становится больше 100%, когда скорость системы превышает скорость лопасти в воде. Однако, это вовсе не означает, что лопасть работает эффективнее.

Конечно, гребля – не настоящее реактивное движение. Однако, топливо означает энергию, энергия за единицу времени – мощность, так что мы решили заменить рас-

ход топлива в реактивном двигателе механической мощностью гребца *Prow* и определить удельный импульс лопасти *Isp*, как:

$$Isp = Ftrust / Prow \quad (4)$$

Предыдущее определение КПД весла *Ebl* было безразмерным, но *Isp* имеет размерность в *с/м*, т.е. обратную скорости, а размерность *Isp* для реактивного двигателя - *с*. Для расчета *Isp* мощность гребли *Prow* была определена традиционным методом (НБГ 2004/06).

$$Prow = Fh Vh \quad (5)$$

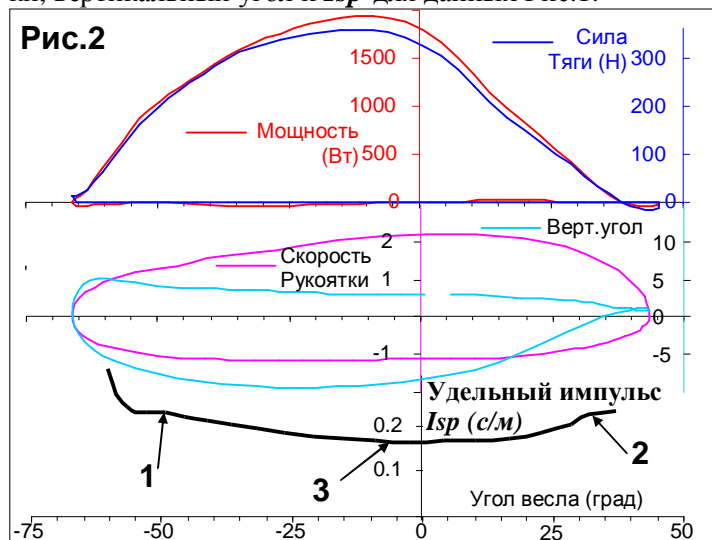
Где *Fh* и *Vh* – усилие на рукоятке и ее скорость. Тяга лопасти *Ftrust* была определена, как:

$$Ftrust = Fh (Lin / Lout) \cos(\alpha) \quad (6)$$

Где *Lin* и *Lout* – действующие внутренний и внешний рычаги весла (от оси до центра лопасти) и α – угол весла. Объединяя уравнения 2, 3 и 4, получаем:

$$Isp = (Lin / Lout) \cos(\alpha) / Vh \quad (7)$$

Рис.2 показывает мощность, тягу, скорость рукоятки, вертикальный угол и *Isp* для данных Рис.1.



Удельный импульс *Isp* выглядит достаточно постоянным на протяжении проводки. Его наивысшие значения ~0,23 *с/м* обнаружены в начале и конце проводки (1, 2), а наименьшее 0,16 *с/м* – при перпендикулярном положении весла к лодке (3). Средний *Isp* водяной работы весла был 0,19 *с/м* в данном отрезке. Он снижается при повышении темпа и скорости с 0,27 при темпе 20 до 0,17 *с/м* при 41 гр/мин.

Заключение. Удельный импульс можно использовать совместно с КПД, для оценки эффективности работы лопасти. Более высокий импульс создается при более легком передаточном отношении весла, но при снижении скорости рукоятки в то же время. Очевидно, что это возможно лишь, когда лопасть имеет значительное сопротивление в воде, что можно достигнуть лишь **при использовании большей площади лопасти, либо при более эффективном создании тяги за счет лучшей формы и/или использования эффекта гидро-лифта**, что происходит в начале и конце проводки (Рис.2, 1, 2).