

КПД и эффективность лопасти весла

Удельный импульс лопасти весла, представленный в прошлой статье, может быть рассмотрен, как мера эффективности (результативности), которая часто разнаправлена с КПД (НБГ 2011/10). Аналогичные противоречия можно найти у самолетов, где КПД возрастает со скоростью, но эффективность (тяга) снижается (Рис.1), так что конструкцию двигателя определяется, как крейсерской скоростью, так и условиями взлета.

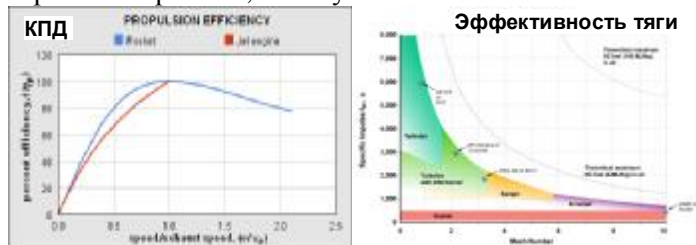
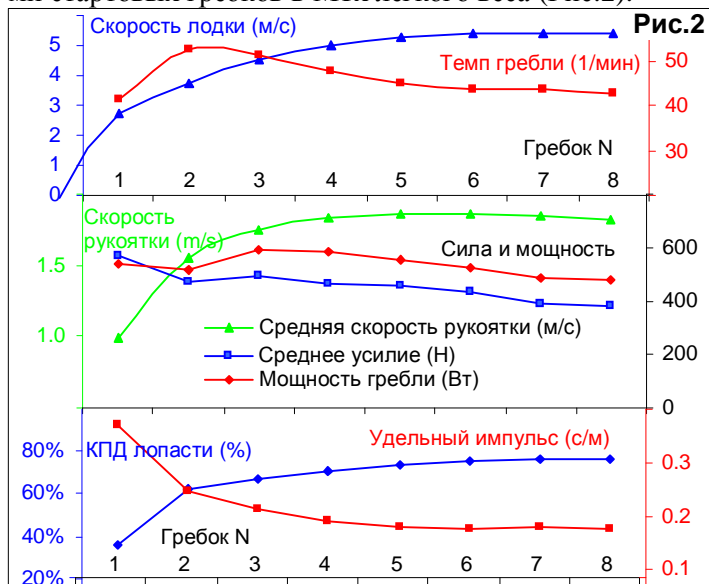


Рис.1. Из http://en.wikipedia.org/wiki/Jet_engine

Мы выполнили аналогичный анализ для первых восьми стартовых гребков в М1х легкого веса (Рис.2):



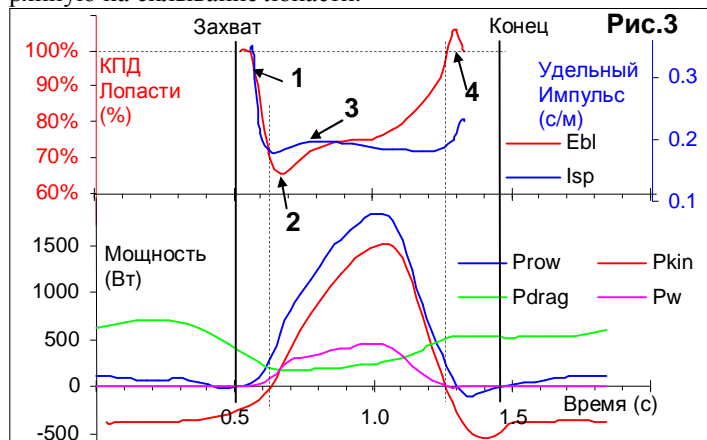
После стартового первого гребка, скорость лодки возрастает примерно до половины от крейсерской величины, КПД лопасти имеет самое низкое значение 36%, но удельный импульс 0,37 с/м – самый высокий. Затем, скорость лодки возрастает и достигает постоянной величины после шестого гребка, но величина среднего усилия на рукоятке снижается на 33%, что можно объяснить законом Хилла для мышечного сокращения (НБГ 2007/09). Работа за гребок и мощность гребли *Prow* остаются почти постоянными, поскольку снижение усилий компенсируется длиной гребка и более высокой средней скоростью рукоятки. КПД *Ebl* лопасти возрастает более, чем в два раза до 76%, поскольку он зависит от продвигающей мощности *Pprop*, которая пропорциональна скорости ЦМ системы V_{CM} :

$$Ebl = Pprop / Prow = Fprop V_{CM} / Prow \quad (1)$$

После шести гребков, удельный импульс *Isp* снижается в два раза до 18 с/м, поскольку снижается продвигающая сила, а средняя скорость рукоятки возрастает (она обратно пропорциональна импульсу, ур.7 в НБГ 2013/11), так что гребец должен тратить больше мощности для создания меньшей тяги.


Аналогичные явления происходят на протяжении цикла гребка, когда скорости лодки и ЦМ системы изменяются. Рис.3 показывает КПД лопасти и ее эффективность (*Isp*) у

ЛМ1х при крейсерском темпе 32 гр/мин. Нижний график показывает мощность *Prow* произведенную гребцом, мощность *Pkin* трансформированную в кинетическую энергию системы, мощность *Pdrag* затраченную на преодоления сопротивления воды на корпусе лодки и мощность *Pw*, потерянную на сплывание лопасти.



В захвате (1), как КПД лопасти, так и ее эффективность, высоки, поскольку произведенная мощность *Prow* ниже, чем *Pdrag* затраченная на движение лодки и *Pkin* - отрицательна, т.е. кинетическая энергия системы затрачивается на преодоление сопротивления воды и, частично, на движение лопасти вперед вместе с лодкой через воду. Мощность гребца начинает возрастать, но скорость ЦМ системы все еще близка к минимуму, и КПД лопасти достигает своего наименьшего значения (2). На протяжении проводки, КПД возрастает вместе со скоростью системы и *Pkin*. Наоборот, удельный импульс остается довольно постоянным на проводке и имеет лишь небольшой максимум (3) при угле весла $-40-45^\circ$ в захвате, что можно рассматривать, как наиболее эффективную зону приложения усилий.

В конце проводки, скорости лодки и системы возрастают вместе с мощностью сопротивления, а мощность гребца снижается. При угле весла $+30-35^\circ$, *Prow* становится ниже мощности сопротивления *Pdrag* (4), система начинает замедляться и *Pkin* становится отрицательной. Это означает, что кинетическая энергия системы затрачивается на движение вперед лодки вместе с веслом, в то время, как на лопасти все еще есть небольшое усилие. Возможно, это объясняется эффектом гидро-лифта. Производство этой направленной вперед (по ходу лодки) скорости и направленной назад силы создает отрицательную «потерянную» мощность *Pw* и $KPD > 100\%$. В конце проводки, КПД лопасти становится выше 100%, но это не означает эффективной работы весла. Аналогичное явление можно было бы наблюдать, если бы обороты реактивного двигателя были резко снижены и скорость истечения газов стала меньше скорости самолета. По ур.3 в НБГ 2013/11, КПД реактивного двигателя стала бы выше 100%, но тяга – ниже сопротивления, так что самолет не пролетел бы так долгое время.

 **Наилучшие пожелания на Новый 2014 Год и Рождество!**