

Оригинальное исследование

Маринус Ван-Холст (m.holst@hccnet.nl), инженер из Нидерландов прислал нам свое по-настоящему интересное исследование о **Подъемной силе и сопротивлении лопасти**. Маринус представил уравнения, которые связывают силы подъемную и сопротивления с углом атаки весла. Теперь моделирование можно выполнять намного проще и эффективней, чем прежде при использовании экспериментальных данных.

Со времени диссертации Фолькера Нольте "Wie wird ein Ruderboot angetrieben?" («Как продвигается гребная лодка?») гидродинамическая подъемная сила привлекала внимание очень многих в гребном сообществе и даже получила почти мистический статус для некоторых. Из сообщений в гребных форумах на Интернете можно создать впечатление, что подъемная сила – это хорошо, а сопротивление – плохо. Это вполне объяснимо, поскольку сопротивление и подъемная сила – термины изначально используемые в авиационной технике и для самолета подъемная сила означает полезный груз (хорошо), а сопротивление означает потребление топлива (плохо). Огромное количество исследований было выполнено для разработки профиля крыла, который создает наибольшую подъемную силу при минимальном сопротивлении. Ситуация в гребле немного другая: полезно понимать значение подъемной силы и сопротивления, однако возможности получить преимущество с помощью этих знаний (грести быстрее) достаточно ограничены.

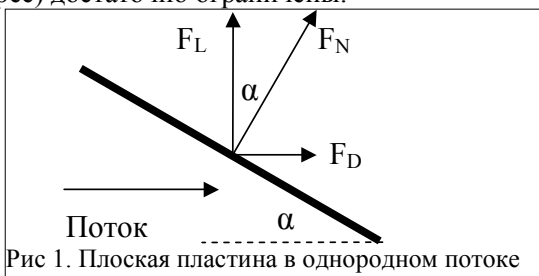


Рис 1. Плоская пластина в однородном потоке

Тело, движущееся сквозь поток, испытывает воздействие силы. В общем случае, направление силы отличается от направления потока. Поэтому, сила может быть разложена на компоненты: перпендикулярный потоку – подъемная сила и параллельный – сила сопротивления. (В случае с самолетом «подъемная» означает «против гравитации», откуда и ее название). Разложение сил – упражнение в геометрии, а не в физике, но его следствием является то, что сила сопротивления производит работу, а подъемная сила – нет. Этот факт имеет физическое значение: работа (мощность) может быть рассчитана, как скалярное произведение векторов силы и скорости. Когда тело в потоке является плоской пластиной и рассматривается в двухкоординатном виде, как на Рис.1, тогда сила F_N перпендикулярна пластине (потому, что на каждом элементарном участке сила является производной от давления с каждой стороны). Угол α между F_L и F_N равен

углу между пластиной и направлением потока и называется «углом атаки». Имеется строгое соотношение между подъемной силой и силой сопротивления:

$$F_D / F_L = \tan \alpha$$

Недавно Caplan и Gardner (1) выполнили эксперимент для определения сил подъемной и сопротивления на плоской пластине и на лопасти «топор». Результаты были выражены, как коэффициенты подъема C_L и сопротивления C_D , определенные из:

$$F_L = C_L 0.5 \rho v^2 A$$

$$F_D = C_D 0.5 \rho v^2 A$$

где ρ – плотность воды, v – скорость потока и A – площадь лопасти. Графики, которые были получены, могут быть очень близко выражены через:

$$C_D = 2C (\sin \alpha)^2$$

$$C_L = C \sin(2\alpha)$$

где C – безразмерная константа, которая представляет функцию формы и поверхности лопасти. Это подтверждает отношение:

$$F_D / F_L = C_D / C_L = \tan \alpha$$

Эти выражения не были представлены в (1). Некоторые небольшие различия между плоской пластиной и лопастью «топор» были выявлены, но они не относятся к данному контексту. Важно следующее: сила на лопасти перпендикулярна к плоской пластине и перпендикулярна к хорде лопасти «топор». Параллельные силы (трения) не были измерены.

Эти результаты приводят к альтернативной формулировке коэффициентов подъемной силы и сопротивления. Нормальная сила на лопасти:

$$F_N = \sqrt{F_D^2 + F_L^2} \text{ and } C_N = \sqrt{C_D^2 + C_L^2}$$

Учитывая предыдущие выражения:

$$C_N = 2C \sin \alpha + \sqrt{1 + (\cos \alpha)^2}$$

Потерянная мощность на лопасти P_W – есть воздействие лопасти, которое двигает и нагревает воду вместо продвижения лодки:

$$P_W = F_D v = F_N v \sin \alpha$$

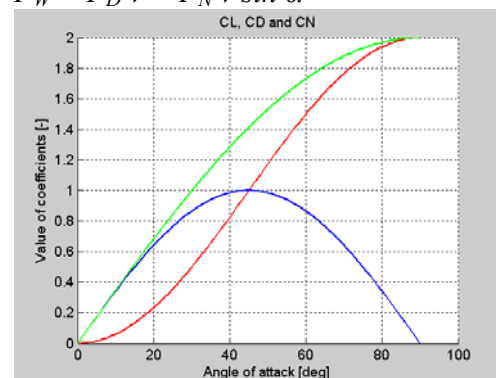


Рис 2 C_D - красный; C_L - синий; C_N - зеленый

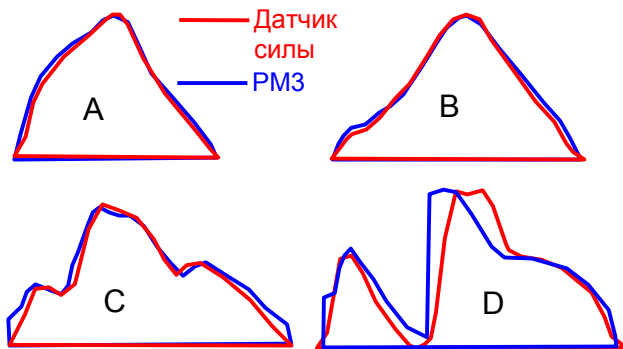
Литература

1. Nicholas Caplan N., Gardner T.N. 2007. A fluid dynamic investigation of the Big Blade and Macon oar blade designs in rowing propulsion. Journal of Sports Sciences, 25(6): 643-650.

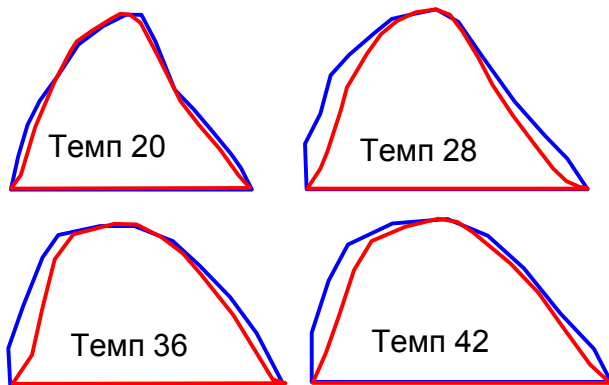
Вопросы и ответы

Мы получили очень хорошие отклики на предыдущую публикацию сравнения кривых усилий на мониторе Концепта. Ниже результаты дополнительного анализа, вызванного двумя комментариями:

1. Скотт Хамильтон, инженер по электронике из фирмы Концепт2, посоветовал обновить программу в мониторе РМЗ. Последняя версия 101 была «скачана» с сайта www.Concept2.com и загружена в монитор. Скотт прояснил, что РМЗ показывает кривую сила/время, поэтому мы повторили эксперимент с кривыми сила/время на обоих экранах монитора Концепта и компьютера. Использовалась та же методика видеонализа, что и раньше (НБГ 2008/04). Сравнение показало намного более близкое соответствие кривых:



Лишь кривая D с очень «рваным» приложением усилий была несколько отлична, однако подобные кривые практически не встречаются на практике. Затем мы решили проверить соответствие при различном темпе:

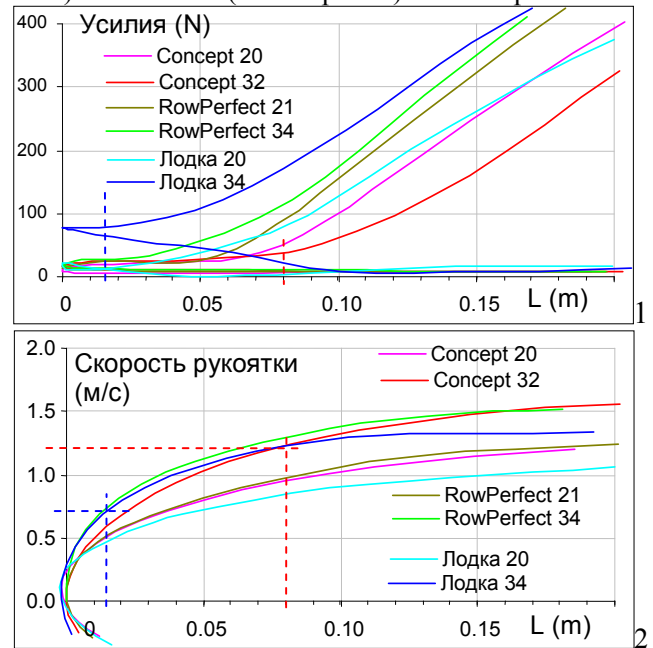


Видно, что соответствие становится хуже при высоком темпе.

2. Интересной была дискуссия с Касом Рекерсом, изобретателем гребного эргометра Роу-Пёфект (RowPerfect), о причине «люфта» в захвате на кривой сила/длина. Кас сообщил, что обгонная муфта тренажера очень точна сама по себе: необходимо менее $\frac{1}{4}$ мм перемещения цепи, чтобы заклинить ее. Однако, в захвате ведомый вал с маховиком вращается со значительной скоростью, так что ведущая шестеренка и цепь должны ускориться до этой скорости, прежде чем обгонная муфта придет в зацепление. Мы с Касом согласились называть эту начальную фазу проводки «ускорением рукоятки» или «длиной зацепления». В течение этой фазы вращение звездочки медленнее враще-

ния ведомого вала и обгонная муфта не заклинена, что аналогично положению в лодке, когда лопасть не имеет упора о воду. Это означает, что энергия маховика не увеличивается и измеряемое усилие мало.

Для сравнения моментов «зацепления» обгонной муфты с нахождением опоры лопастью в воде мы использовали данные нашего эксперимента 2004 г. (НБГ 2005/1, 1), полученные на Концепте2, на Роу-Пёфекте и на воде в одиночке, все при тренировочном (20-21 гр/мин) и гоночном (32-34 гр/мин) темпах гребли:



Приведенные графики показывают, что усилия начинают резко нарастать, когда скорость рукоятки находится в диапазоне от 0,7 м/с при гребле на воде до 1,2 м/с на Концепте при 32 гр/мин. На воде и на Роу-Пёфект менее 4 см перемещения рукоятки требуется, чтобы найти опору, в сравнении с 7-8 см на Концепте при 32 гр/мин.

В общем, характер ускорения рукоятки в захвате довольно похож на обоих эргометрах и на воде, поскольку он зависит более от ускорения масс гребца и лодки/подвижной рамы эргометра, чем от ускорения лишь цепи/весла. Более короткая длина нахождения опоры соответствует различиям между системами с подвижными массами (лодка и Роу-Пёфект) и стационарными системами (Концепт2). Гребля на воде в высоком темпе имеет единственную отличительную черту, поскольку более заметная инерция весла создает некоторую силу на рукоятке даже перед захватом, когда рукоятка движется к корме.

Литература

2. Kleshnev V. 2005. Comparison of on-water rowing with its simulation on Concept2 and Rowperfect machines. Scientific proceedings. XXII International Symposium on Biomechanics in Sports, Beijing. 130-133.

Пишите нам:

✉ Валерий Клешинев, к.п.н., с.н.с.

www.biorow.com e-mail: kleva@btinternet.com