

Отношение мощность/вес и скорость лодки

В предыдущем бюллетене мы определили, что на дистанциях 2 и 5км скорость на эргометре связана с массой, как $V \approx m^{2/9}$, и мощность как $P \approx m^{2/9}$. Более тяжелый гребец производит больше мощности, но создает большее водоизмещение в лодке, и поэтому – больше сопротивления, чего не происходит на эргометре. Гидродинамическое сопротивление составляет 87% от общего (2), а остальные 13% приходятся на аэродинамическое (в безветрие). В первом, 85% приходится на сопротивление трения воды об обшивку лодки D_f и прямо пропорционально площади ее поверхности, которая связана с водоизмещением и массой системы, как $D_f \approx m^{2/3}$. Если учитывать лишь сопротивление трения (опустив сопротивление формы и волновое), тогда пропорции мощности и сопротивления взаимно сокращаются: $V \approx m^0$ т.е. гребцы любой массы не имеют преимуществ. Это утверждение и было сделано Dudhia (1) для аэробной мощности. McMahon (3) предположил, что если размеры лодки будут пропорциональны массе гребцов, тогда $V \approx m^{1/18}$, что дает 95кг гребцу 1,7% преимущества над 70кг. В наиболее свежей публикации Pelz и Verge (5), используя аллометрическое масштабирование и недоступные для понимания трансформации матриц, было определено $V \approx m^{1/36}$, что есть 0,7% преимущества для тяжеловесов.

Другие факторы, влияющие на сопротивление:

1. Дедвейт лодки. Правила ФИСА определяют одинаковый минимальный вес лодки для всех категорий гребцов, так что отношение массы инвентаря к массе гребцов выше для легковесов. Это создает три диспропорции (НБГ 2009/02) для легковесов:

а) Относительно более высокое гидродинамическое сопротивление на кг веса тела, вызванное большим водоизмещением. Это делает скорость -0,23% медленнее при разнице в весе 20 кг.

б) Более низкие потери энергии, вызванные меньшей вариацией скорости лодки при более легкой подвижной массе гребцов (преимущество +0,42% для легковесов),

с) Относительно более высокие инерционные потери, поскольку легковесы должны двигать относительно более тяжелую массу лодки вперед-назад (проигрыш -0,91% для легковесов).

Сумма этих трех факторов дает проигрыш -0,73% для легковесов. (Интересно, что Dudhia (1) рассмотрел лишь два фактора а и б выше и, к удивлению, заключил, что самая легкая лодка – не самая лучшая: он нашел, что «оптимальный» вес лодки должен быть 28% от веса гребцов, т.е. 21кг лодка должна быть наилучшей для гребца в 75кг).

2. Лишь 35% аэродинамического сопротивления зависит от размеров гребцов (2), который также пропорционален поверхности тела $\approx m^{2/3}$ и сокращается обратной пропорцией с мощностью. Гребной инвентарь дает остальные 65% воздушного сопротивления (весла 50% и лодка 15%), и это не зависит от категории гребцов. Поэтому, 8,5% (0,13*0,65) общего сопротивления не зависит от размеров гребцов и должно быть преодолено при меньшей мощности у легковесов, так что это дает им

2,68% (0,085³) проигрыша в скорости. Этот проигрыш возрастает при встречном ветре, поскольку доля аэродинамического сопротивления возрастает. Суммируя четыре фактора выше, легковесы должны быть 3,4% медленнее, чем аналогичная открытая категория.

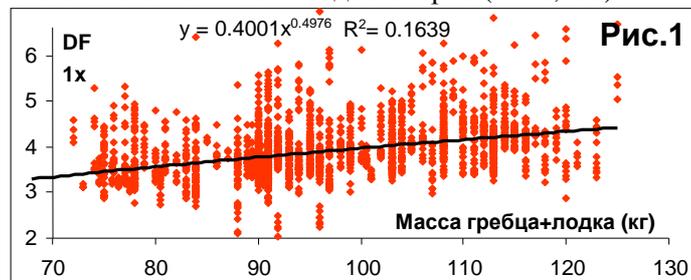
Попробуем сравнить эти теории с реальными данными. Большинство актуальных рекордов мира было установлено на последнем чемпионате мира-2014 в Амстердаме: M2x открытого веса была на 1,56% быстрее, чем легковесы, в M4- разница была 1,54%, в W2x 2,77%. Сравнение средних скоростей победителей мировых регат за последние 21 год дает близкие величины: 1,45% в M2x, 1,34% в M4- и 2,38% в W2x.

Интересное исследование было опубликовано Nevill et al. (4), где 49 гребцов были протестированы на эргометре и в одиночке на воде. Обнаружено, что наиболее точно скорость лодки V_b , результат на эргометре V_e и массу гребца m связывает уравнение

$$V_b \approx V_e m^{-0.23} \quad (1)$$

Полагая $V_e \approx m^{0.22}$ из предыдущего бюллетеня, получаем $V_b \approx m^{0.01}$, что означает лишь 0,25% проигрыша для легковесов.

В НБГ 2007/07 мы использовали линейные тренды, чтобы связать коэффициент сопротивления DF с массой гребца m , а затем использовали те уравнения для расчета скорости и настройки лодки (8). Теперь мы применили степенную функцию для зависимости DF от массы M гребца плюс лодка+весла (+18кг). Для одиночек (n=2296), обнаружено $DF \approx M^{0.50}$ (Рис.1), для 2x/2- (n=1895) и 4x/4- (n=1119) функция была почти одинакова $DF \approx M^{0.63}$ ($R^2=0,35$ и $0,26$), а для 8+ (n=728) она была статистически недостоверна ($R^2=0,006$).



Поскольку скорость V , мощность P и сопротивление DF соотносятся, как $V = (P/DF)^{1/3}$, для одиночек:

$$V \approx (M^{0.66} / M^{0.50})^{0.33} \approx M^{0.054} \approx M^{1/18} \quad (2)$$

Это значит 1,76% различий в скорости между 70кг легковесом и 95кг тяжеловесом в одиночке. Для двоек и четверок $V \approx M^{0.011} \approx M^{1/90}$, что означает лишь 0,28% различий в скорости. Поскольку первая пропорция является самой близкой к наблюдаемым данным лучших гребцов мира, а также соответствует теории McMahon, мы примем ее за весовой поправочный фактор.

В заключении, чтобы определить результативность на воде, скорость на эргометре следует умножить на следующий поправочный коэффициент:

$$k_w = ((M_{st} + m_b) / (m + m_b))^{0.054} \quad (3)$$

где m масса гребца, M_{st} некоторая «стандартная» масса (95кг), m_b - масса лодки с веслами 18кг (Табл.1).

Литература и ссылки

1. Dudhia A. 2001. *Effect of Weight in Rowing*. <http://www.atm.ox.ac.uk/rowing/physics/weight.html>
2. Filter K. 2004. *The system crew – boat. Lecture*.
3. McMahon, T.A., 1971. *Rowing: a similarity analysis*. *Science* 173, 349.
4. Nevill A. et al. 2010. *Scaling concept II rowing ergometer performance for differences in body mass to better reflect rowing in water*. *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20: 122–127.
5. Pelz P., Vergé A. 2014. *Validated biomechanical model for efficiency and speed of rowing*. *J. of Biomechanics* 47(2014) 3415–3422.
6. <http://www.concept2.com/indoor-rowers/training/calculators/weight-adjustment-calculator>
7. <https://www.rowperfect.co.uk/erg-scores-how-to-adjust-for-athlete-weight/>
8. *Rowing Speed and Rigging Chart* <http://www.biorow.com/RigChart.aspx>

Таблица 1. Весовые поправочные коэффициенты при различных «стандартных» массах M_{st} и весе гребца m .

M_{st}	m						
	60	70	80	90	100	110	120
60	100.0%	99.3%	98.7%	98.2%	97.7%	97.3%	96.9%
70	100.7%	100.0%	99.4%	98.9%	98.4%	97.9%	97.5%
80	101.3%	100.6%	100.0%	99.5%	99.0%	98.5%	98.1%
90	102.1%	101.4%	100.8%	100.3%	99.8%	99.3%	98.9%
100	102.3%	101.6%	101.0%	100.5%	100.0%	99.5%	99.1%
110	102.8%	102.1%	101.5%	100.9%	100.5%	100.0%	99.6%
120	103.2%	102.5%	101.9%	101.4%	100.9%	100.4%	100.0%

Величины выше 100% означают более высокую скорость / более короткий временной результат, ниже 100% - ниже скорость / длиннее время.

Эту таблицу, также, можно использовать для прямого сравнения результатов гребцов различного веса. Напр., если 90 кг гребец на 2,1% быстрее на эргометре, чем 60 кг, значит их результативность на воде будет одинакова.