

## Вопросы и ответы

Мы получили очень позитивные отклики на предыдущую статью и имели интересную дискуссию с Марином Ван Хольстом о выборе системы координат (СК). Он доказывал, что должна быть использована СК привязанная к поверхности Земли, а не двигаться с постоянной скоростью системы лодка-гребец. Когда дискуссия зашла в тупик, я получил прекрасный комментарий от Мартина Ветерингса, тренера студенческой гребной ассоциации Арго из г. Вагенинген, Голландия, который и разрешил спор:

«Для определения колебаний кинетической энергии очень часто используют СК, которая зафиксирована относительно центра масс (ЦМ) системы. Использование СК движущейся с постоянной скоростью поглощает колебания скорости ЦМ системы в уравнения колебаний скорости лодки и гребца ( $V_{boat} - V_{rower}$ ). Однако, колебания скорости ЦМ системы не включают затрат энергии потерянной на внутренние колебания масс гребца и лодки внутри системы. Поэтому, физическая интерпретация этих двух определений различна. Определение через СК, которая движется с переменной скоростью ЦМ системы, более чисто отражает внутренние потери кинетической энергии. Способ соединить эти две парадигмы выглядит следующим образом:

$$E_{kinetic\ total} = E_{rower} + E_{boat} = E_{sys} + E_{in} \quad (1)$$

$$E_{row} + E_{boat} = \frac{1}{2} M_{row} V_{row}^2 + \frac{1}{2} M_{boat} V_{boat}^2 \quad (2)$$

$$E_{sys} + E_{in} = \frac{1}{2} M_{sys} V_{sys}^2 + \frac{1}{2} M_{in} V_{in}^2 \quad (3)$$

Уравнения 2 и 3 равны, если:

$$M_{sys} = M_{row} + M_{boat} \quad (4)$$

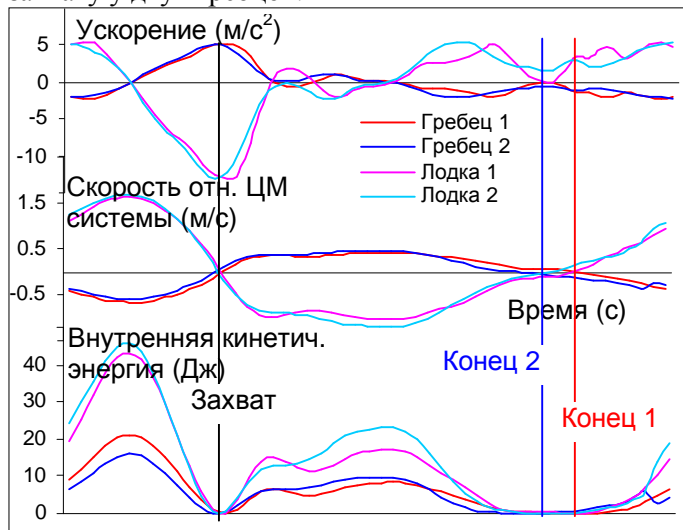
$$V_{sys} = V_{row} M_{row} / (M_{row} + M_{boat}) + V_{boat} M_{boat} / (M_{row} + M_{boat}) \quad (5)$$

$$M_{in} = M_{row} M_{boat} / (M_{row} + M_{boat}) \quad (6)$$

$$V_{in} = V_{row} - V_{boat} \quad (7)$$

Теперь, различия между двумя представлениями состоят в том, что  $E_{in}$  определяет внутренние колебания внутри системы гребец-лодка, а  $E_{sys}$  определяет колебания ...» ЦМ всей системы во внешней среде.

Мы провели дополнительный анализ и рассчитали скорости и кинетическую энергию относительно ЦМ системы, которые представлены ниже, выровненные по захвату у двух гребцов:



Следующая Таблица показывает инерционные потери, связанные с внутренней (вариация  $V_{row}$  и  $V_{boat}$ ) и внешней (вариация  $V_{sys}$ ) кинетической энергией:

	N	Инерция Гребца (Вт)	Инерция лодки (Вт)	Общая Инерция (Вт)	Потери энергии (%)
Внутр. энергия	1	20.5	25.4	46.0	6.4%
	2	17.9	25.5	43.4	6.5%
Энергия системы	1	23.6	21.5	45.2	5.6%
	2	35.6	15.1	50.7	6.6%
Общая энергия	1	44.2	47.0	91.1	12.0%
	2	53.5	40.6	94.1	13.1%

Внутренние инерционные потери также ниже у гребца 1, но различия очень малы, всего 0,1%. Так что, в основном различия определяются другими факторами.

Внутренние и внешние потери были примерно равны у этих двух гребцов. Фактически, вторые не являются «потерями» по своей природе: это количество кинетической энергии, которую система аккумулирует во время проводки и тратит на подготовку для преодоления сопротивления воды. В этом случае выбор СК имеет значение, поскольку более значительная мощность потребна для создания продвигающей силы  $F_{prop}$  и увеличения кинетической энергии при более высокой скорости  $V_{prop}$  относительно внешней среды:

$$P = F_{prop} V_{prop} = \frac{1}{2} M_{sys} (V_{cm2}^2 - V_{cm1}^2) / dt \quad (8)$$

Это аналогично ускорению автомобиля, которое требует большей мощности двигателя при большей скорости движения. Поэтому, для системы в целом должна использоваться СК привязанная к субстанции, используемой для создания продвигающей силы, воды в данном случае. Внутренние инерционные потери следует определять относительно ЦМ системы, что делает их аналогичными таковым на эргометре (см. НБГ 2010/05).

**В:** Мартин Ветерингс также спрашивает: «Было ли принято во внимание влияние скорости лодки на сопротивление воды? Мне кажется, что гребец 2 имеет меньшее среднее куба скорости лодки. Я могу предположить, что различия будут менее заметны, когда сопротивление будет принято во внимание»

**О:** Мы обнаружили, что, действительно, различия между максимальной и минимальной скоростями лодки на протяжении цикла гребка были ниже у гребца 2: 1,34 м/с по сравнению с 1,43 м/с у гребца 1. Однако, когда мы определили отношение этих величин к соответствующей средней скорости лодки, тогда гребец 1 имеет меньшую относительную амплитуду колебаний: 24,7% в сравнении с 25,2% у гребца 2. Определив потери энергии, мы нашли, что КПД скорости лодки был также выше у гребца 1: 93,1% в сравнении с 92,3% у гребца 2. Это означает, что первый гребец терял лишь 2,37% скорости лодки (8,2 сек в 2 км гонке) в сравнении со своим менее эффективным оппонентом, который терял 2,64% или 9,9 сек за 2 км гонку.

Мы можем заключить, что попытка достигнуть более равномерной скорости лодки за счет использования верхней части тела в захвате не сработала. Гребец 2 имел более высокую вариацию скорости лодки и потерял на 0,28% больше скорости лодки по этой причине 1,2 сек за 2 км гонку, что составило вклад в общую разницу 8,3% между этими двумя гребцами.

**Пишите нам:**

\* ©2010 Валерий Клешинев, [www.biorow.com](http://www.biorow.com)