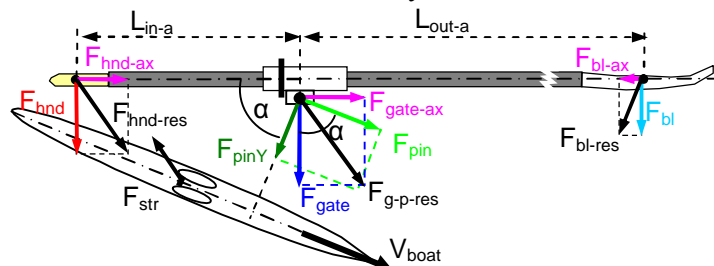


Вопросы и Ответы

В: Мы получили несколько вопросов со следующим смыслом: «В чем различия между измерением усилий на рукоятке весла и на уключине или не ее оси? Какой метод более точный?»

О: Мы уже обсуждали за и против измерений угла весла на весле или на уключине (НБГ 2003/05). Аналогично с углом, сила может быть измерена на рукоятке весла или не его на лопасти, на уключине или не ее оси.



Этим методам присущи следующие характеристики:

1. Сила на рукоятке F_{hnd} может быть измерена в перпендикулярном к веслу направлении с помощью тензодатчиков наклеенных или прямо на весло, или с помощью съемного датчика (1). Фактически, датчик измеряет изгиб весла, который пропорционален изгибающему моменту M силы F_{hnd} и может быть откалиброван, как сила приложенная к известной точке на рукоятке. Мощность P производимая гребцом может быть определена:

$$P = M * \omega = F_{hnd} * L_{in-a} * \omega \quad (1)$$

где L_{in-a} действующий внутренний рычаг весла, ω - угловая скорость весла, которая может быть измерена с помощью датчика горизонтального угла весла. В этом случае, определение мощности не зависит от точки приложения усилий гребца на рукоятке, которая неизвестна и значительно меняется, особенно в распашной гребле. Поэтому, это наиболее точный метод определения мощности гребца, ошибку которого мы оцениваем примерно в 1%. Практическая проблема этого метода – необходимость калибровать каждое весло, которая может разрешена с помощью современных технологий (1).

Результирующая сила $F_{hnd-res}$ прикладываемая гребцом к рукоятке не всегда направлена перпендикулярно к оси весла. Поэтому, она может быть разложена на перпендикулярный F_{hnd} и осевой F_{hnd-ax} компоненты. Последний довольно трудно измерить, но он не производит механической работы на весле. Он статически переносится через весло и создает осевую силу на уключине $F_{gate-ax}$, которая является суммой векторов осевых сил на рукоятке F_{hnd-ax} и лопасти F_{bl-ax} . Затем, осевая сила $F_{gate-ax}$ переносится через уключину, ось, отводы и статически балансируется силой на подножке F_{str} . Поэтому, **гребец должен прикладывать лишь небольшое осевое усилие для удержания каблука в контакте с уключиной и стараться тянуть рукоятку по возможности перпендикулярно.**

Перпендикулярный компонент силы на лопасти F_{bl} можно измерить теми же методами, которые были описаны выше для силы на рукоятке, что дает ту же точность определения мощности гребца.

2. Уключина вращается вместе с веслом, поэтому перпендикулярный F_{gate} и осевой F_{bl-ax} компоненты силы могут быть измерены в координатной системе весла с

помощью различных моделей измерительных уключи (2, 4). Мощность гребца может быть определена по уравнению 1, но сила на рукоятке должна быть рассчитана предварительно как:

$$F_{hnd} = F_{gate} * (L_{out-a} / (L_{in-a} + L_{out-a})) \quad (2)$$

где L_{out-a} – действующий внешний рычаг от оси до точки приложения усилия на лопасти. Мы не знаем точно L_{in-a} и L_{out-a} , поскольку точки приложения усилий во время гребли неопределены и можем лишь допустить, что они находятся в центрах рукоятки и лопасти. Ошибка расчета мощности при этом по нашей оценке может достигать 5%. Сумма нормального F_{gate} и осевого $F_{gate-ax}$ компонентов дает результирующую силу на уключине $F_{g-p-res}$, которая переносится на ее ось.

3. Ось закреплена относительно лодки, поэтому датчик на оси измеряет силы в координатной системе лодки (3). Обычно, измеряется лишь параллельный оси лодки компонент F_{pin} от результирующей силы на уключине-оси $F_{g-p-res}$. Мощность гребца может быть определена с помощью формул 1 и 2, но сначала сила на уключине F_{gate} должна быть рассчитана как:

$$F_{gate} = F_{pin} * \cos \alpha \quad (3)$$

Фактически, лишь часть усилий гребца может быть измерена этим методом (напр. лишь половина при угле в захвате 60° , т.к. $\cos(60^\circ) = 0.5$). Также, на показатели влияет осевая сила $F_{gate-ax}$, которая не производит никакой мощности, как мы показали выше. Оценка погрешности измерений мощности с использованием этого метода составляет до 10% в парной гребле и до 20% - в распашной (см. Приложения). Точность этого метода может быть улучшена, если использовать двух-координатные датчики и измерять также перпендикулярный к лодке компонент F_{pinY} . В этом случае, точность будет соответствовать датчикам силы на уключине: величина и направление результирующей силы на уключине $F_{g-p-res}$ может быть определена и перпендикулярный компонент F_{gate} вычислен с учетом известного угла α .

Положение с точностью противоположное, если целью измерений является баланс сил на корпусе лодки, что бывает целью некоторых исследований. Обычно, сила на подножке F_{str} измеряется в таких проектах и определяется пропульсивная сила F_{prop} для каждого гребца:

$$F_{prop} = F_{pin} - F_{str} \quad (4)$$

Если измеряется усилие на рукоятке, тогда F_{gate} должна быть определена через F_{hnd} , L_{in-a} и L_{out-a} , а затем F_{pin} получена с использованием угла α . В этом случае, измерение F_{pin} – наиболее точный метод, а определение последней через силу на рукоятке F_{hnd} может дать 20% погрешности в распашной гребле.

Ссылки

1. BioRow Ltd. BioRowTel telemetry system. http://www.biorow.com/PS_files/BioRowTel.pdf
2. Клешнева В.В. 1988. Устройство для измерения работы гребца. Patent СССР №1650171.
3. Peach Innovations Ltd.. PowerLine Rowing Instrumentation system. www.peachinnovations.com
4. WEBA Sport. RowX Outdoor. www.weba-sport.com/weba/rowx_outdoor.html

* ©2010 Валерий Клешнева,
www.biorow.com, kleva@btinternet.com

Приложение 1. Сравнение измерений сил на рукоятке весла и оси уключины в парной гребле

Сила на рукоятке была измерена с помощью съемного датчика системы BioRowTel v.3 (1)

Сила на оси уключины была измерена с помощью измерительной уключины системы PowerLine (3), а затем сила на рукоятке была рассчитана с использованием уравнения 2 выше.

Обе силы измерялись одновременно на протяжении отрезка около 1 мин, а затем усреднялись за один типичный цикл гребка.

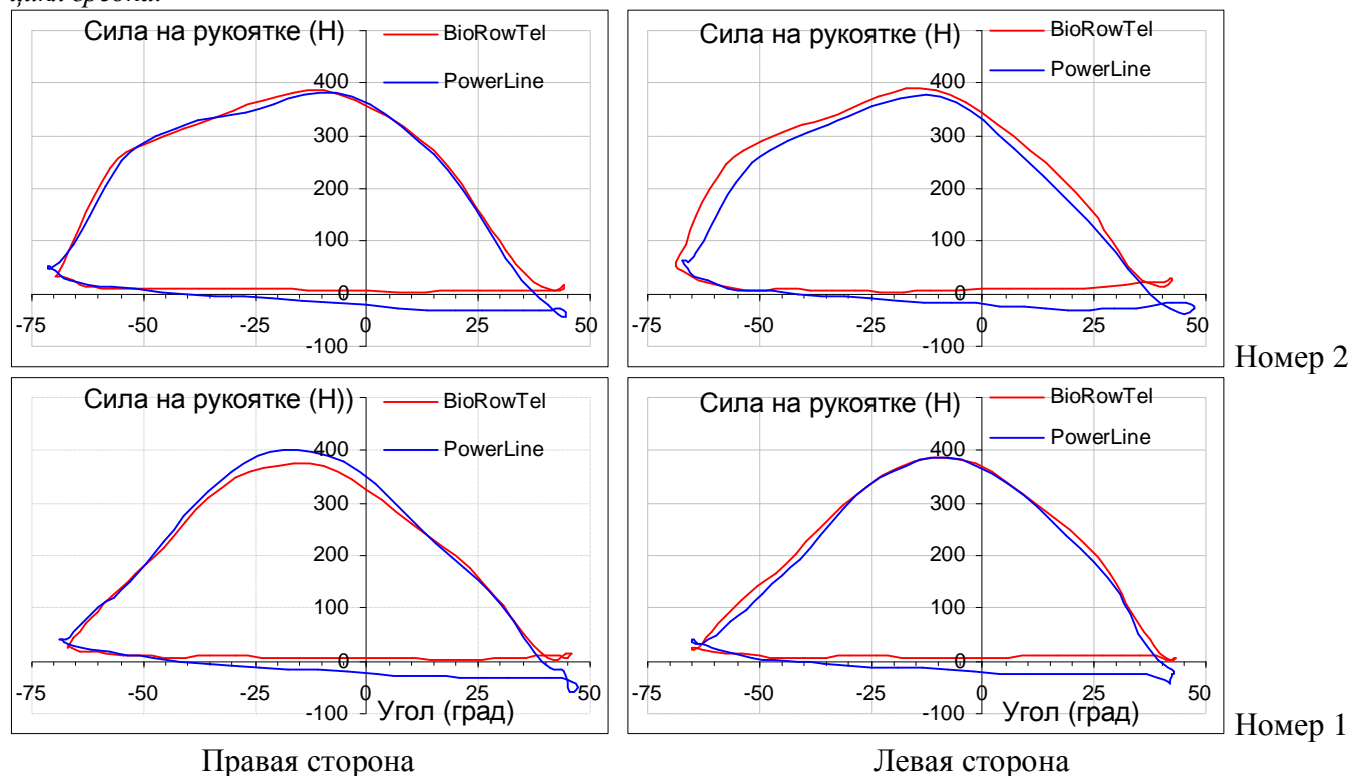


Figure 1. Сравнение кривых сила/угол при гребле в двойке парной на темпе 30 гр/мин

Table 1. Сравнение производных величин при гребле в двойке парной на темпе 30 гр/мин

Данные с	Угол BioRowTel (град)	Угол PowerLine (град)	Абсолютная разница (град)	Относительная разница (%)	Макс. Сила BioRowTel (N)	Макс. Сила PowerLine (N)	Абсолютная разница (N)	Относительная разница (%)	Средняя Сила BioRowTel (N)	Средняя Сила PowerLine (N)	Абсолютная разница (N)	Относительная разница (%)
№ 2 Правое	111.1	114.9	-3.81	3.4%	391	377	13.3	3.5%	220	196	24.0	11.5%
№ 2 Левое	114.0	116.0	-2.06	1.8%	387	381	5.8	1.5%	210	196	13.8	6.8%
№ 1 Правое	108.3	107.8	0.48	0.4%	386	385	1.0	0.3%	173	180	-7.1	4.0%
№ 1 Левое	112.8	115.7	-2.91	2.5%	376	401	-24.5	6.3%	178	184	-5.7	3.1%
Среднее	111.5	113.6	-2.1	2.0%	385.1	386.2	-1.1	2.9%	195.5	189.2	6.3	6.4%
Данные с	Мощность BioRowTel (W)	Мощность PowerLine (W)	Абсолютная разница (W)	Относительная разница (%)	Нарастание до 70% BioRowTel (deg)	Нарастание до 70% PowerLine (deg)	Абсолютная разница (deg)	Относительная разница (%)	Снижение с 70% BioRowTel (deg)	Снижение с 70% PowerLine (deg)	Абсолютная разница (deg)	Относительная разница (%)
№ 2 Правое	144	130	13.3	9.7%	15.1	18.6	-3.5	20.7%	31.8	38.5	-6.7	19.1%
№ 2 Левое	146	144	2.7	1.9%	16.8	18.3	-1.6	8.9%	29.7	30.1	-0.4	1.3%
№ 1 Правое	127	123	3.8	3.1%	30.8	31.8	-1.0	3.2%	27.2	27.9	-0.7	2.6%
№ 1 Левое	127	133	-5.7	4.4%	26.2	28.4	-2.2	8.1%	36.1	38.6	-2.5	6.7%
Среднее	135.9	132.4	3.5	4.7%	22.2	24.3	-2.1	10.2%	31.2	33.8	-2.6	7.4%

Приложение 2. Сравнение измерений сил на рукоятке весла и оси уключины в распашной гребле

Сила на рукоятке была измерена с помощью съемного датчика системы BioRowTel v.3 (1)

Сила на оси уключины была измерена с помощью измерительной уключины системы PowerLine (3), а затем сила на рукоятке была рассчитана с использованием уравнения 2 выше.

Обе силы измерялись одновременно на протяжении отрезка около 1 мин, а затем усреднялись за один типичный цикл гребка.

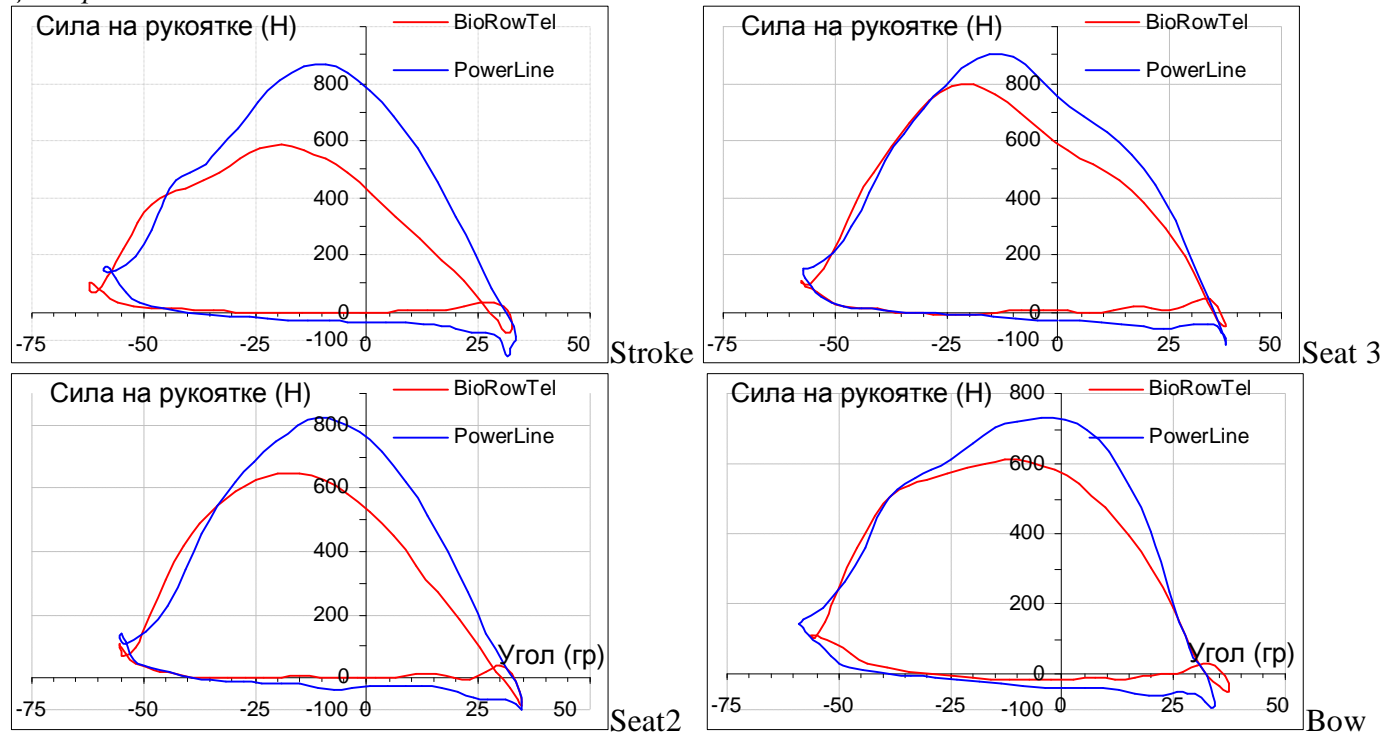


Figure 2. Сравнение кривых сила/угол при гребле в четверке распашной без рулевого на темпе 34 гр/мин

Table 2. Сравнение производных величин при гребле в четверке распашной без рулевого на темпе 34 гр/мин

Данные с	Угол BioRowTel (град)	Угол PowerLine (град)	Абсолютная разница (град)	Относительная разница (%)	Макс. Сила BioRowTel (N)	Макс. Сила PowerLine (N)	Абсолютная разница (N)	Относительная разница (%)	Средняя Сила BioRowTel (N)	Средняя Сила PowerLine (N)	Абсолютная разница (N)	Относительная разница (%)
Загреб.	94.5	92.4	2.03	2.2%	583	865	-282.3	39.0%	297	457	-159.5	42.3%
№ 3	94.9	94.9	0.01	0.0%	800	905	-105.3	12.3%	398	459	-61.0	14.2%
№ 2	90.1	90.2	-0.07	0.1%	649	822	-173.0	23.5%	320	428	-108.4	29.0%
Баковый	93.5	92.9	0.61	0.7%	614	733	-119.0	17.7%	339	432	-93.2	24.2%
Среднее	93.2	92.6	0.6	0.7%	661.6	831.4	-169.9	23.1%	338	444	-105.5	27.4%
Данные с	Мощность гребли BioRowTel (W)	Мощность гребли PowerLine (W)	Абсолютная разница (W)	Относительная разница (%)	Парастание до 70% BioRowTel (deg)	Парастание до 70% PowerLine (deg)	Абсолютная разница (deg)	Относительная разница (%)	Снижение скорости 70% BioRowTel (deg)	Снижение скорости 70% PowerLine (deg)	Абсолютная разница (deg)	Относительная разница (%)
Загреб.	233	335	-101.7	35.8%	17.4	28.0	-10.7	47.1%	30.8	23.8	7.0	25.6%
№ 3	321	363	-42.5	12.4%	19.4	23.2	-3.8	17.9%	34.4	27.2	7.3	23.6%
№ 2	248	308	-59.2	21.3%	16.2	23.5	-7.3	37.0%	29.2	24.1	5.1	19.0%
Баковый	271	314	-43.1	14.8%	13.3	21.1	-7.8	45.3%	24.6	18.0	6.5	30.7%
Среднее	268.2	329.8	-61.6	21.1%	16.5	23.9	-7.4	36.8%	29.7	23.3	6.5	24.7%