

Тестирование лодок в закрытом бассейне

Четыре одиночки различных производителей были протестированы недавно в закрытом бассейне (600м длина, 16м ширина, 7м глубина, постоянные +16°C) Крыловского государственного научного центра в Санкт-Петербурге (<http://krylov-center.ru/rus/>). Лодки были следующие:

- Empacher (X10 A115, 2013 г., под 85-100кг);
- Filippi (F14, 2011 г., 80-95 кг);
- Wintech (Medalist, 2014 г., 75-85 кг);
- Nowing (2014 г., 75-85 кг).

Целью было определение факторов сопротивления DF каждой лодки с использованием двух методов: гребли и буксировки, и их корреляция.



Гребля в закрытом бассейне

Методы. В гребных измерениях, гребец Национального уровня (вес тела 91кг) выполнил 4 отрезка по 200м в возрастающем темпе в каждой лодке оборудованной системой BioRow™. Средняя скорость V измерялась взятием времени последних 150м в каждом отрезке. Усилия на рукоятке, углы весла и ускорение лодки измерялись при 25Гц, а затем рассчитывались мощность гребли P и КПД лопасти Ebl (НБГ 2007/12, 2012/06). Продвигающая мощность $Pprop$ рассчитывалась как:

$$Prop = P * Ebl \quad (1)$$

Фактор сопротивления при гребле определялся двумя способами:

1. Гросс-фактор DF_{R1} определялся, как отношение к средней скорости V_{av} за цикл гребка:

$$DF_{R1} = Prop / V_{av}^3 \quad (2)$$

2. Нет-фактор DF_{R2} определялся, как отношение к среднему кубов мгновенной скорости лодки V_i определенной через ускорение за цикл гребка:

$$DF_{R2} = Prop / Среднее(V_i^3) \quad (3)$$

Различия между ними означают, что гросс-фактор включает потери энергии на вариацию скорости лодки в цикле, а нет-фактор – не включает.



Измерения с протяжкой лодки

Измерения с протяжкой были полностью независимы от гребли, и все датчики и обработка данным обеспечивались сотрудниками Крыловского Центра. Каждая лодка монтировалась под мостом-тележкой (56т веса, 4*200кВт двигатели) перемещающейся по рельсам вдоль канала. Каждая лодка тестировалась при двух нагрузках 80 и 90кг, на двух скоростях 4 and 5м/с, и выполняла по три 500м пробега в каждом сочетании

нагрузка-скорость – 12 пробегов для каждой из 4 лодок. Сила сопротивления R_T , всплытие и дифферент измерялись при 10Гц и усреднялись за период постоянной скорости V 20-30с. Фактор сопротивления протяжки DF_T определялся для каждого пробега:

$$DF_T = R_T / V^2 \quad (4)$$

Результаты. В гребных измерениях, самая высокая средняя мощность была показана в Filippi (Таблица 6 Приложения 1 ниже), Ebl и $Pprop$ (Табл. 7-8) были выше в Empacher, но оба гросс (Таблица 9) и нет-факторы сопротивления были ниже в лодке WinTech.

DF_{R2}	Wintech	Empacher	Filippi	Nowing	Среднее
1	3.079	3.084	3.139	3.144	3.111
2	3.000	2.954	3.169	3.262	3.096
3	3.007	3.041	3.227	3.016	3.073
4	2.936	3.007	3.145	3.172	3.065
Средн.	3.006	3.021	3.170	3.149	3.086

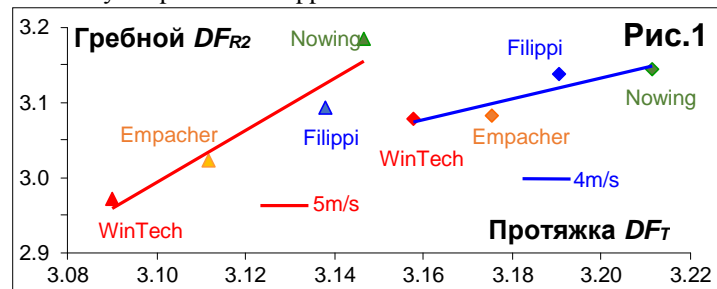
При протяжке, сила сопротивления (среднее трех пробегов, Приложение 2) была ниже в лодке WinTech:

Скорость-Нагр.	WinTech	Empacher	Filippi	Nowing
4м/с-80кг	48.194	48.622	48.830	48.797
4м/с-90кг	50.779	50.944	51.218	51.579
5м/с-80кг	73.814	74.614	74.351	74.603
5м/с-90кг	77.604	77.998	78.798	78.733
Среднее	62.598	63.045	63.299	63.428

Фактор сопротивления при протяжке DF_T также был ниже в лодке WinTech:

DF_T	WinTech	Empacher	Filippi	Nowing
4м/с-80кг	2.990	3.025	3.038	3.037
5м/с-80кг	2.929	2.975	2.972	2.974
4м/с-90кг	3.158	3.176	3.191	3.211
5м/с-90кг	3.090	3.112	3.146	3.138
Среднее	3.042	3.072	3.087	3.090

Сравнивая факторы сопротивления, было обнаружено, что при протяжке они были ниже при высокой скорости 5м/с (на 5.3% в среднем). Гребные факторы также значительно снижались при высокой скорости у WinTech и Nowing, и меньше у Empacher и Filippi.



Хорошая корреляция была найдена между факторами при гребле и протяжке (Рис.1, $r=0.91$ при 4м/с и 0.95 при 5м/с), что означает - **измерения были точны и надежны.** Средний нет-фактор при гребле DF_{R1} был на 1.6% ниже, чем при протяжке с аналогичным весом 90кг, но причина нам пока не ясна.

Суммируя результаты измерений с греблей и протяжкой: **Лодка WinTech имела наименьшее среднее сопротивление.** Empacher имел DF на 0.78% выше, Nowing – на 2.35% и Filippi – на 2.95% выше. При продвигающей мощности 400Вт (мощность гребли 508Вт и время на 2км около 6:35), выявленные различия в факторе сопротивления дадут **преимущество данной лодке WinTech 1.02с над Empacher, 3.06с над Nowing и 3.84с над протестированной лодкой Filippi.**

Приложение 1 к бюллетеню *Новости Биомеханики гребли 2015/04*
 Детальные данные измерений в гребле

Table 1. Темп гребли (1/мин)

Отрезок N	Wintech	Empacher	Filippi	Nowing	Среднее
1	22.0	22.5	22.9	22.8	22.6
2	26.4	26.9	26.6	25.7	26.4
3	32.1	33.1	31.8	31.9	32.2
4	44.1	44.1	39.7	42.5	42.6
Среднее	31.2	31.6	30.3	30.7	30.9

Таблица 2. Скорость лодки (м/с)

Отрезок N	Wintech	Empacher	Filippi	Nowing	Среднее
1	4.03	4.01	4.07	4.06	4.04
2	4.34	4.38	4.40	4.17	4.32
3	4.68	4.70	4.69	4.74	4.70
4	5.55	5.53	5.20	5.20	5.37
Среднее	4.65	4.65	4.59	4.54	4.61

Таблица 3. Мощность гребли (Вт)

Отрезок N	Wintech	Empacher	Filippi	Nowing	Среднее
1	278.0	260.9	306.9	284.2	282.5
2	333.6	327.6	361.8	325.6	337.2
3	421.0	427.8	459.3	422.7	432.7
4	690.0	688.2	610.1	621.9	652.6
Среднее	430.7	426.1	434.5	413.6	426.2

Таблица 4. КПД лопасти (%).

Отрезок N	Wintech	Empacher	Filippi	Nowing	Среднее
1	76.4%	78.8%	76.2%	78.6%	77.5%
2	77.9%	80.8%	79.3%	77.5%	78.9%
3	78.3%	79.4%	77.9%	81.4%	79.3%
4	79.1%	80.5%	78.9%	78.2%	79.2%
Среднее	77.9%	79.9%	78.1%	78.9%	78.7%

Таблица 5. Продвигающая мощность (Вт)

Отрезок N	Wintech	Empacher	Filippi	Nowing	Среднее
1	212.4	205.7	233.7	223.3	218.9
2	259.8	264.5	286.9	252.3	265.9
3	329.8	339.6	358.0	344.1	343.0
4	545.8	554.3	481.2	486.3	516.7
Среднее	335.6	340.4	339.2	326.4	335.4

Таблица 6. Гросс-фактор DF_{RI}

Отрезок N	Wintech	Empacher	Filippi	Nowing	Среднее
1	3.256	3.201	3.480	3.329	3.321
2	3.189	3.141	3.370	3.471	3.291
3	3.223	3.275	3.469	3.229	3.300
4	3.190	3.280	3.420	3.464	3.337
Среднее	3.344	3.377	3.511	3.479	3.427

Приложение 2 к бюллетеню *Новости Биомеханики гребли 2015/04*
 Детальные данные измерений с протяжкой

Таблица 7. Результаты протяжки лодки Empacher

Пробег N	Скорость протяжки V (м/с)	Сила сопротивления R _T (Н)	Всплытие DT, мм	Дифферент у (град)
Нагрузка 80 кг				
1	4.009	48.731	-3.750	0.147
2	4.009	48.567	-4.687	0.145
3	4.009	48.567	-4.117	0.149
	Среднее	48.622	-4.185	0.147
1	5.003	74.789	-4.687	0.246
2	5.005	74.461	-5.666	0.251
3	5.016	74.592	-5.951	0.228
	Среднее	74.614	-5.435	0.242
Нагрузка 90 кг				
1	4.002	50.900	-5.543	0.149
2	4.007	50.867	-4.850	0.151
3	4.007	51.064	-4.443	0.151
	Среднее	50.944	-4.945	0.150
1	5.000	77.911	-6.032	0.246
2	5.006	78.010	-6.155	0.246
3	5.014	78.075	-5.177	0.251
	Среднее	77.998	-5.788	0.248

Таблица 8. Результаты протяжки лодки Filippi

Пробег N	Скорость протяжки V (м/с)	Сила сопротивления R _T (Н)	Всплытие DT, мм	Дифферент у (град)
Нагрузка 80 кг				
1	4.007	48.468	-3.994	0.158
2	4.010	48.961	-4.198	0.165
3	4.010	49.060	-3.750	0.156
	Среднее	48.830	-3.981	0.160
1	5.000	74.198	-4.891	0.255
2	5.001	74.757	-7.948	0.246
3	5.003	74.099	-2.527	0.239
	Среднее	74.351	-5.122	0.247
Нагрузка 90 кг				
1	4.004	51.722	-7.826	0.174
2	4.008	50.802	-0.571	0.151
3	4.008	51.130	-1.101	0.154
	Среднее	51.218		
1	5.003	78.404	-4.647	0.280
2	5.004	78.733	-9.416	0.282
3	5.006	79.258	-7.092	0.316
	Среднее	78.798	-7.052	0.293

Таблица 9. Результаты протяжки лодки WinTech

Пробег N	Скорость протяжки V (м/с)	Сила сопротивления R _T (Н)	Всплытие ΔT, мм	Дифферент у (град)
Нагрузка 80 кг				
1	4.008	48.041	-4.117	0.201
2	4.018	48.501	-5.910	0.199
3	4.018	48.041	-6.481	0.181
	Среднее	48.194	-5.503	0.194
1	5.012	73.672	-5.503	0.285
2	5.022	73.672	-6.196	0.298
3	5.025	74.099	-6.399	0.296
	Среднее	73.814	-6.033	0.293
Нагрузка 90 кг				
1	4.008	50.604	-4.728	0.208
2	4.008	50.834	-7.296	0.206
3	4.014	50.900	-6.318	0.201
	Среднее	50.779		
1	5.005	77.418	-6.155	0.318
2	5.010	77.681	-7.744	0.318
3	5.019	77.714	-5.992	0.321
	Среднее	77.604	-6.630	0.319

Таблица 10. Результаты протяжки лодки Nowing

Пробег N	Скорость протяжки V (м/с)	Сила сопротивления R _T (Н)	Всплытие ΔT, мм	Дифферент у (град)
Нагрузка 80 кг				
1	4.006	48.863	-5.217	0.183
2	4.006	48.863	-3.668	0.172
3	4.014	48.666	-5.421	0.183
	Среднее	48.797	-4.769	0.179
1	5.006	74.987	-6.807	0.287
2	5.008	74.789	-4.239	0.305
3	5.011	74.034	-5.992	0.287
	Среднее	74.603	-5.679	0.293
Нагрузка 90 кг				
1	4.004	51.459	-7.296	0.201
2	4.009	51.623	-4.810	0.203
3	4.010	51.656	-6.073	0.196
	Среднее	51.579		
1	5.007	78.470	-5.462	0.314
2	5.007	78.963	-6.888	0.318
3	5.013	78.765	-6.644	0.316
	Среднее	78.733	-6.331	0.316