

Пров. 1980

АКАДЕМИЯ НАУК УССР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ
им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

ПРОВ 98

ПРОВ 2010

БИОЛОГИЯ МОРЯ

вып. 16

ФУНКЦИОНАЛЬНО-
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКТОННЫХ
ЖИВОТНЫХ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКОВА ДУМКА»
КИЕВ — 1969

рают обоняние и наружная вкусовая чувствительность нижней стороны головы (Андрияшев и Арнольди, 1945). Поэтому ясно, что для того, чтобы отыскивать пищу, у *Solea* должен быть постоянный контакт с грунтом. А два других черноморских представителя отряда камбалообразных - *Scophthalmus maeoticus maeoticus* (Pallas) и *Pleuronectes flesus luscus* Pallas являются хищниками, подстерегающими свою добычу, притаившись на грунте, или активно ее преследующими. Основным рецептором при отыскании пищи у них является зрение.

Л И Т Е Р А Т У Р А

А л е е в Ю.Г. О функциональном значении бокового (горизонтального) положения тела у камбалообразных (*Pleuronectiformes*). - ДАН СССР, 110, 4, 1956.

А н д р и я ш е в А.П. и А р н о л ь д и Л.В. О биологии питания некоторых донных рыб Черного моря. - Журн. общ. биол., 6, I, 1945.

И ц е н т к о в с к и й А.В. Рыбы Одесского залива. - В кн.: Зап. Новоросс. об-ва естествоиспыт., 33, 1909.

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ПЛОВЦОВ

Б.И.Онопrienko

Львовский институт физкультуры и спорта

Одним из основных факторов, влияющих на скорость продвижения пловцов, является встречное сопротивление воды. Чем меньше величина этого сопротивления, тем больше эффект от гребковых движений и выше скорость плавания. Величина сопротивления встречных потоков воды у пловцов различна и зависит от их плавучести, величины поперечника и длины тела, его формы, состояния поверхности и других факторов, от которых и зависит степень приспособленности тела пловца к движению в водной среде.

Определенных исследований в этом направлении нет. Как известно (Прандтль, 1949; Павленко, 1953; Хайкин, 1962), современная гидродинамика не располагает методами определения сопротивления воды телу произвольной формы, которое представляет собой тело пловца. Гидродинамические формулы дают лишь общее представление

относительно того, какие особенности формы влияют на сопротивление, зависимость сопротивления от скорости движения, линейных размеров тела и т.п. Единственно возможным вариантом исследований в этом направлении может быть экспериментальное измерение суммарного сопротивления воды, которое она оказывает движущемуся телу.

Такие исследования в спортивном плавании проводили, используя различную методику, Гордон (1964), Ильин (1964) и др. Подобные эксперименты проводились и на кафедре плавания нашего института. С этой целью был сконструирован и изготовлен специальный прибор для механической буксировки пловца в воде на различных скоростях и с параллельным измерением прилагаемого усилия (рис. 1).

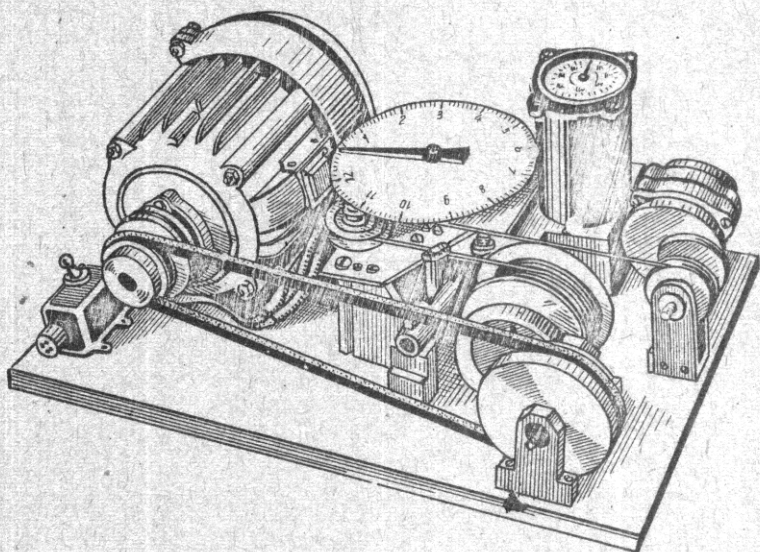


Рис. 1. Прибор для измерения встречного сопротивления воды.

С помощью прибора была проведена серия экспериментов, в которых исследовалось влияние формы и размеров тела спортсменов на встречное сопротивление воды. Предварительно обычным путем измерялись антропометрические данные испытуемых: рост, вес,

окружность грудной клетки, таза, плеча, голени. Затем измерялись проекция и плавучесть тела на глубоком вдохе и выдохе.

Проекция тела (миделево сечение) замерялась с помощью фотографирования тела вдоль его оси на фоне масштабной линейки. В дальнейшем с помощью фотоувеличителя негатив проектировался на миллиметровую бумагу, при этом совмещались деления на масштабной линейке и на бумаге, и контур проекции тела наносился карандашом (рис. 2 и 3).

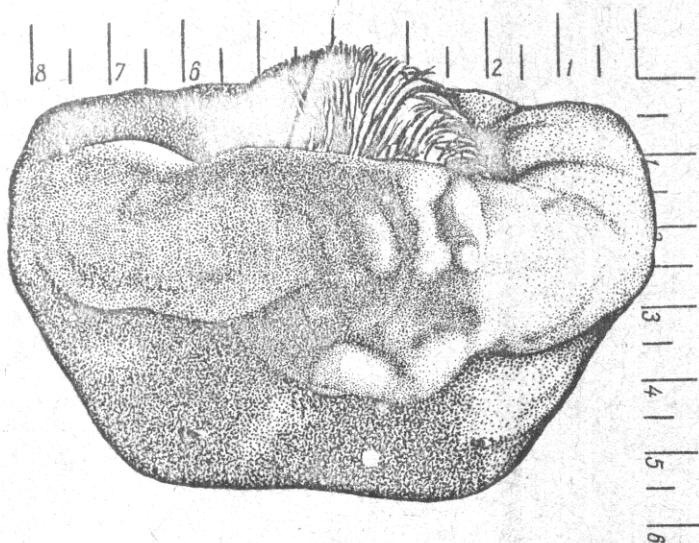


Рис. 2. Фотография тела пловца сверху, послужившая исходным материалом для построения проекции.

Плавучесть определялась по методу Прахта (1940) динамометром с чувствительностью шкалы до 2 г (рис. 4 и 5). Замеры силы встречного сопротивления воды проводились на четырех скоростях - 85, 110, 140 и 190 м/сек. Положение тела во время буксировки у всех испытуемых было одинаковым: скольжение с вытянутыми руками, носки ног оттянуты, тело выпрямлено, на глубоком вдохе.

При сравнении данных исследования нам удалось выявить значительное влияние антропометрических данных испытуемых на силу сопротивления встречного потока воды.

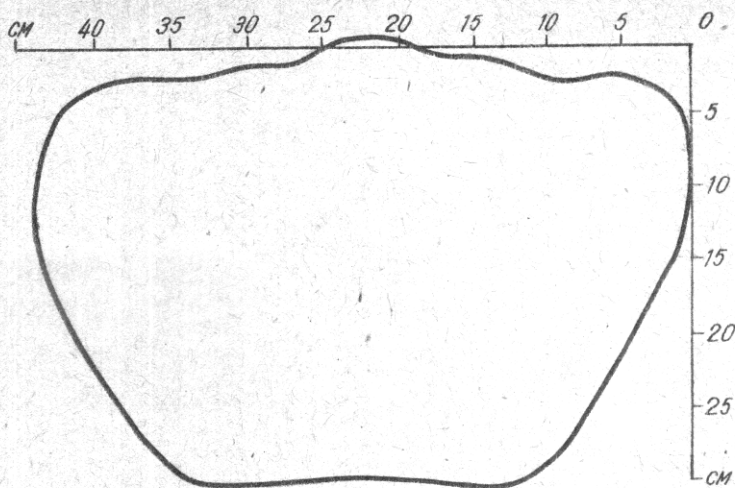


Рис. 3. Проекция тела пловца на плоскость, перпендикулярную продольной оси тела.

Влияние поперечных размеров тела / миделевого сечения/

Для определения влияния поперечных размеров тела на сопротивление воды нами были сопоставлены данные антропометрии и гидродинамометрии всех испытуемых. С этой целью испытуемые были разделены на три группы по показателям проекции тела /табл.1/.

Из данных, приведенных в табл.1, видно, что с увеличением поперечных размеров тела увеличивается и величина сопротивления воды. Однако при более тщательном анализе результатов гидродинамометрии и антропометрии были отмечены в отдельных случаях значительные отклонения, которые возникали под влиянием других факторов, не связанных с поперечными размерами тела.

Поэтому дополнительно был проведен эксперимент, в котором мы старались повлиять на проекцию тела испытуемых путем измене-

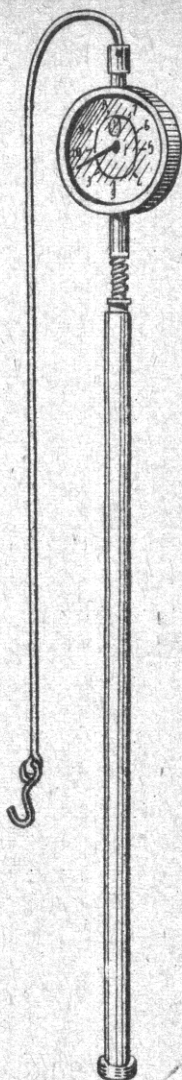


Рис. 4. Динамометр для измерения плавучести тела.

ния глубины вдоха. При глубоком вдохе проекция тела испытуемых увеличивалась от 38 до 45 см² (по сравнению с проекцией на среднем вдохе). Чтобы избежать влияния плавучести тела, во всех случаях испытуемым с помощью свинцовых пластин сообщался отрицательный вес около 1 кг, и буксировка проводилась под водой.

Из данных, приведенных в табл.2, видно, что величина лобового сопротивления испытуемых при буксировке на среднем вдохе уменьшается. Влияние уменьшения величины проекции тела за счет уменьшения глубины вдоха было нами проверено при скоростном нырянии, т.е. при подводном плавании с максимальной скоростью в секции подводного спорта СКА ПРИКВО. В большинстве случаев результаты на среднем вдохе были лучшими, чем на глубоком. Эта разница на 25 м дистанции выражалась в пределах 0,4 - 0,7 сек.

Влияние общих размеров тела (числа Рейнольдса)

В различных по размерам телах имеет место различное отношение сил инерции к силам вязкости, которое в физике принято выражать с помощью числа Рейнольдса (Re). Число Рейнольдса выражается формулой

$$Re = \frac{VL}{\eta},$$

где L - линейные размеры движущегося тела; V - скорость движущегося тела; η - кинематическая вязкость среды.

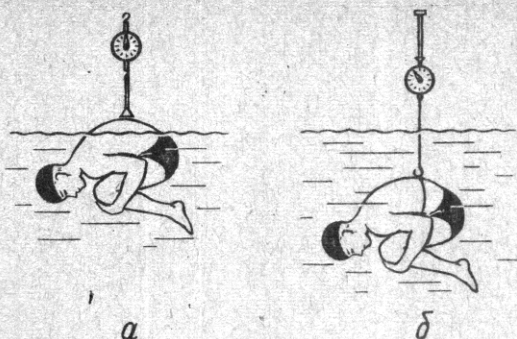


Рис. 5. Измерение положительной плавучести (на глубоком вдохе) - а и отрицательной плавучести (на глубоком выдохе) - б.

Отношение сил инерции к силам вязкости, выраженное числом, не является одним из важнейших параметров движения тела в воде и в значительной степени характеризует силу лобового сопротивления тела различных размеров. Если число Рейнольдса мало, значит в потоке преобладают силы вязкости. Наоборот, если число Рейнольдса велико, то главную роль в потоке играют силы инерции. Из этого следует, что с увеличением размеров тел и скорости движения влияние сил вязкости уменьшается и наоборот.

Рассмотрим, например, данные испытуемых К. и П., которые близки по упитанности, форме тела, но очень отличаются от участвовавших в эксперименте по размеру тела (табл. 3).

В данном случае можно использовать величину кинематической вязкости воды при температуре 20° , приведенную Прандтлем (1949) и равную 0,01, и одинаковую скорость, допустим 140 см/сек. В качестве размеров тела возьмем показатели роста испытуемых.

Подставив значения чисел в формулу, получим:

Для К.
$$Re = \frac{140 \cdot 179}{0,01} = 2\,506\,000 = 2,5 \cdot 10^6,$$

для П.
$$Re = \frac{140 \cdot 130}{0,01} = 1\,820\,000 = 1,8 \cdot 10^6.$$

Как видно из вычислений, на испытуемого П. вязкость среды воздействует на 1,37 больше, чем на испытуемого К. Следовательно, для определения лобового сопротивления на скорости 140 см/сек П. нужно пропорционально увеличивать силу гребковых движений.

Таблица 1

Величины лобового сопротивления (в кг) у
испытуемых с различным поперечным размером тела

Группа	Средняя величина проекций тела, см ²	Скорость буксировки, см/сек			
		85	110	140	190
1-я группа, 9 чел. с проекцией 900-1090 см ²	940	3,5	4,8	7,6	13,4
2-я группа, 10 чел. с проек- цией 680-840 см ²	720	2,4	3,4	5,3	10,7
3-я группа, 9 чел. с проекцией 375-600 см ²	465	2,2	3,3	4,8	8,8

Таблица 2

Величина лобового сопротивления (в кг) испытуемых
в зависимости от глубины вдоха при скорости
буксировки 190 см/сек

Испытуемые	На глубоком вдохе		На среднем вдохе	
	Проекция тела, см	Сила сопро- тивления, кг	Проекция тела, см ²	Сила сопро- тивления, кг
Я.	725	12,0	690	11,3
Т.	840	12,4	800	11,3

Таблица 3

Антропометрические данные испытуемых К.и П.

Испытуемые	Рост, см	Вес, кг	Объем груди, см	Проекция тела, мидель, см ²	Площадь поверх- ности тела, см ²
К.	179	85	107	1000	20000
П.	130	30	67	410	1300

Таблица 4

Результаты измерения силы гребковых
движений у детей и взрослых

Испытуемые	Возраст	Вес, кг	Время прохождения дистанции	Разви- ваемая сила гребка, кг	Удельная сила
Дети (мальчики)					
П.	10	33	17,8	5,6	170
М.	11	32	17,0	5,3	165
А.	11	35	17,2	5,8	166
Г.	11	34	19,0	5,4	159
В.	12	36	17,6	5,6	155
Среднее		34	17,7	5,55	163
Взрослые (мужчины)					
К.	23	76	13,8	13,5	177
М ₁	22	77	14,0	13,0	169
Т.	20	70	15,1	11,3	161
М ₂	21	63	13,8	10,5	166
С.	24	70	15,2	10,5	150

Без существенных изменений эти соображения можно отнести и к другим испытуемым, различным по антропометрическим показателям их соразмерности. Необходимо только учитывать, что на движущееся тело в воде оказывает влияние ряд других факторов. Поэтому при незначительной разнице в размере тела последний фактор может оказаться второстепенным. Например, женщины, как правило, меньше, чем мужчины. Однако по другим гидродинамическим условиям обтекания тел жидкостью, что будет рассмотрено ниже, влияние чисел Рейнольдса в данном случае не будет являться решающим.

Вышесказанное хорошо подтверждается результатами измерения силы гребковых движений у детей и у взрослых, проведенных нами в 1957 г. Сила гребковых движений как абсолютный показатель у взрослых естественно была больше, чем у детей. Однако для развития определенной скорости детям (малым телам) нужно прикладывать больше удельной силы, т.е. на 1 кг веса тела.

Из табл. 4 видно, что при одинаковом отношении силы гребковых движений к 1 кг веса средние показатели скорости у детей на 25 м дистанции на 3,4 сек. хуже, чем у взрослых. Следует учи-

тивать, что показатель удельной силы, или КДОВ, как его называли в проводимых ранее нами исследованиях (Онопrienко, 1961), является закономерным фактором, определяющим спортивную квалификацию испытуемых.

О том, что размеры тела играют существенную роль при движении в водной среде, свидетельствует также гидродинамическая формула

$$R_x = C \frac{\rho V^2}{2}$$

Эту формулу успешно применял В.В.Шулейкин для определения коэффициента лобового сопротивления рыб и дельфинов (Шулейкин, Лукьянова, Стась, 1937; Шулейкин, 1962). В его опытах наименьшее значение C_x было отмечено у наиболее быстроходных рыб.

Применим эту формулу для данного случая. Из $R_x = C_x S \frac{\rho V^2}{2}$ вытекает, что $C_x = \frac{2R_x}{S\rho V^2}$, где R_x - найденная нами экспериментальным путем сила сопротивления воды, S - проекция тела испытуемых, ρ - плотность воды и V - установленная на приборе скорость буксировки. Подставив в формулу цифровые данные испытуемых К. и П., получим: для К. $C_x = 0,78$, для П. $C_x = 1,12$.

Таким образом, были подсчитаны коэффициенты лобового сопротивления и для других испытуемых, которые подтвердили мнение, что в диапазоне данных наших исследований размер тела играет существенную роль. С увеличением размеров тела уменьшается коэффициент лобового сопротивления и пропорционально уменьшается сила лобового сопротивления (по отношению к 1 кг веса тела).

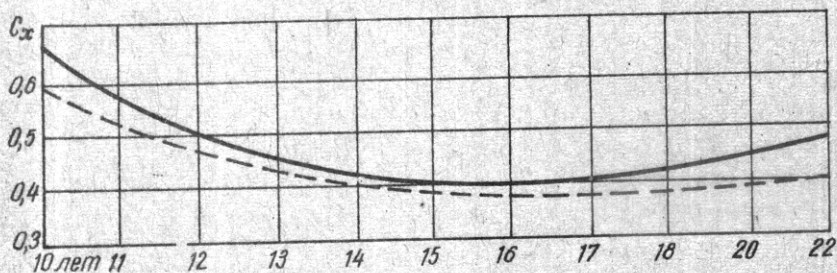


Рис. 6. Изменение коэффициента лобового сопротивления в юношеском возрасте:

/- / мужчины; /- - - / женщины.

Интересно, что в юношеском возрасте, когда длина тела достигает длины тела взрослых, коэффициент лобового сопротивления значительно уменьшается, и в подавляющем большинстве его величина меньше величины C_x взрослых (рис. 6).

Безусловно, на величину C_x влияют и другие факторы, в частности различие пола, форма тела, плавучесть, размещение центра тяжести, плавучести.

Приведенные кривые /рис. 6/ дают относительную характеристику гидродинамических условий плавания для пловцов различного возраста и пола. Становится очевидным, что достижение высоких спортивных результатов в плавании в более раннем возрасте, чем в других видах спорта, можно обосновать хорошими гидродинамическими качествами пловцов в юношеском возрасте, о чем и свидетельствует в данном случае более низкий коэффициент лобового сопротивления. В более позднем возрасте C_x увеличивается, но одновременно увеличиваются и физические возможности спортсменов. Можно полагать, что после юношеского возраста спортивный результат зависит от того, в какой степени внешнее физическое развитие спортсменов влияет на изменение их гидродинамических качеств и насколько физическое развитие превышает ту выгоду, которую создавали гидродинамические условия.

Зависимость лобового сопротивления от морфологических особенностей пола

В литературе неоднократно подчеркивались более благоприятные свойства строения женского тела для спортивного плавания, чем у мужчин. В какой степени это сказывается на спортивных результатах женщин, отчасти можно определить, сравнив лучшие достижения женщин в плавании с достижениями в других видах спорта, или сравнив нормативы Единой всесоюзной спортивной классификации, по которым присуждаются разрядные нормативы мужчинам и женщинам. В других видах спорта в большинстве случаев нормативы мастера спорта для женщин можно приравнивать к нормативам для мужчин между III и II разрядом. В плавании норматив мастера спорта для женщин приближается к I мужскому разряду. На мировой арене по плаванию женские рекорды достигают нормативов мастеров спорта для мужчин. В других видах спорта женские рекорды соответствуют уровню II разряда для мужчин.

Проведенная нами динамометрия гребковых движений у женщин и мужчин свидетельствует о том, что по своим силовым показателям она намного в силе гребковых движений уступает мужчинам. Удельные показатели силы перворазрядницы находятся на уровне показателей мужчин, плавающих по III разряду. Таким образом, объяснение столь высоких спортивных результатов в плавании физичес-

кими возможностями пловчих отпадает. Это можно объяснить лишь более благоприятными свойствами строения тела женщин, хорошими гидродинамическими качествами, которые создают лучшие по сравнению с мужчинами условия реализации силы.

Для выяснения этого вопроса из обследуемых нами пловцов были выделены мужчины и женщины наиболее близкие по показателям окружности груди, таза и проекции тела.

Из данных, приведенных в табл. 5, видно, что величина лобового сопротивления и C_x у женщин значительно меньше, чем у мужчин, причем эта разница с увеличением скорости возрастает.

На рис. 7 изображены параболы зависимости лобового сопротивления от скорости /средние результаты мужчин и женщин взяты из табл. 5/. Более крутой подъем параболы средних данных мужчин наводит на мысль, что у мужчин с ростом скорости сопротивление увеличивается больше, чем у женщин.

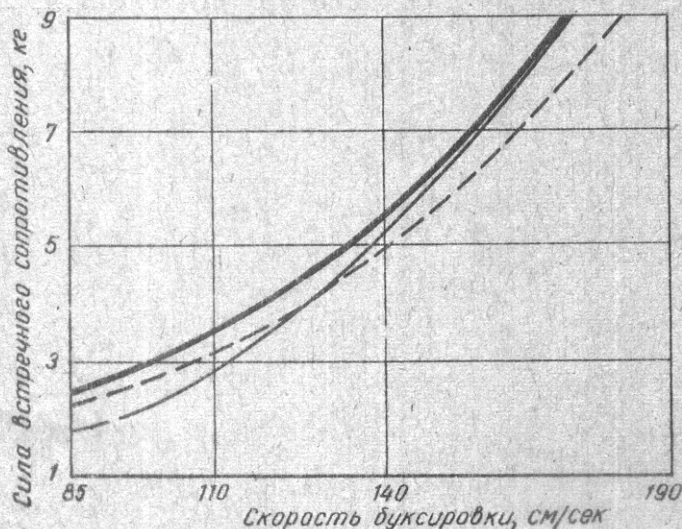


Рис. 7. Зависимость встречного сопротивления от скорости буксировки:

/—/ мужчины; / - - - / женщины; /-/-/ квадратичная кривая.

Более выгодное обтекание женского тела встречным потоком объяснено морфологическими особенностями строения тела женщин. При сравнении антропометрических данных характерными являются следующие существенные различия между женщинами и мужчинами.

Зависимость величины C_x от пола испытуемых

Испытуемые	Антропометрические данные				Сила сопротивления /в кг/ при скорости буксировки, см/сек					
	Рост, см	Вес, кг	Окруж- ность груди, см	Окруж- ность таза, см	Проекция тела /мидель/, см ²	85	110	140	190	C _x
М е н щ и н ы										
Г.	165	63	98	85	765	2,2	3,2	5,2	10,5	0,038
М.	160	61	92	104	750	2,0	3,1	4,5	9,5	0,035
П.	167	57	94	92	725	2,5	3,4	5,2	10,4	0,040
С.	158	56	90	91	690	2,0	3,0	4,0	9,0	0,036
К.	170	55	86	85	685	2,1	3,3	5,0	9,7	0,039
Среднее	164	58	92	91	725	2,2	3,2	4,8	9,8	0,0376
М у ж ч и н ы										
Н.	178	70	94	90	775	2,6	3,5	5,2	12,0	0,047
Д.	164	64	95	89	765	2,5	3,6	5,3	12,4	0,045
Я.	168	62	96	91	725	3,0	4,2	6,0	12,2	0,047
Ч.	171	65	90	90	700	2,7	3,7	5,3	11,2	0,045
Л.	168	62	90	86	680	2,2	3,2	5,5	10,8	0,044
Среднее	170	64	93	89	730	2,4	3,4	5,4	11,4	0,0456

Лучшие показатели плавучести у женщин обусловлены большим объемом жировых тканей, меньшим удельным весом костно-двигательного аппарата, а также меньшей толщиной и большей эластичностью кожи по сравнению с мужчинами. В данном случае благодаря амортизирующим свойствам мягкая и эластичная поверхность кожи благоприятствует ламинарному обтеканию тела. В этой связи можно напомнить условия обтекания тела дельфина. В последних исследованиях установлено /Kramer, 1960/, что кожа дельфина способна гасить возникающие турбулентные токи, отдалять поверхности отрыва к задним частям тела и, таким образом, снижать величину сопротивления. Нечто аналогично имеет, возможно, место и у женщин.

Для исследования этого явления на скоростях спортивного плавания нами была изготовлена специальная модель естественной величины /рост 165 см/, которая представляла собой подобие женской фигуры, средних антропометрических данных с гладкой поверхностью, покрытой химолаком, в хлопчатобумажном купальнике. Данные размеров манекена соответствовали антропометрическим данным испытуемой Г. Однако лобовое сопротивление манекена было несколько больше лобового сопротивления испытуемой Г. /табл. 6/, хотя во время исследований не наблюдалось заметных отклонений в положении модели, скорости буксировки и т.п. Это указывает на то, что важную роль в данном вопросе играет структура тела, его верхних слоев. Твердая поверхность модели не может сглаживать турбулентных токов, что способствует ускорению отрыва и росту вихревой системы.

У женщин наряду с более обтекаемой формой тела и сглаженными выступами определенную роль играют микровыступы. Вряд ли можно сомневаться в том, что волосной покров ног, который имеется у мужчин, увеличивает сопротивление воды. В практике спортивного плавания известны случаи, когда пловцы, сбив волосной покров на ногах, показывали лучшие результаты.

В наших исследованиях применялись микродинамометры, которыми измеряли толщину пограничного слоя и скорость тока воды возле различных участков тела. Замеры токов воды вдоль тела женщин отличались большей равномерностью и постоянством, чем у мужчин. Это свидетельствует о более равномерном обтекании тела женщины по сравнению с телом мужчины из-за рельефности мышечных выступов. Последние способствуют вихреобразованию, образуют

области раздела и тем самым нарушают безотрывное обтекание на большой поверхности тела.

Таблица 6

Величина силы сопротивления /в кг/
испытуемой Г. и модели

Объект	Рост, см	Окруж- ность груди, см	Проек- ция тела	Плаву- честь на глу- боком вдохе и вы- дохе	Скорость буксировки, см/сек			
					85	110	140	190
Испы- туемая Г.	165	98	765	+2000 -1000	2,2	3,2	5,2	10,5
Модель	165	98	750	+1000	2,2	3,4	6,0	11,2

Большое значение имеет и тот факт, что у женщин наибольшая ширина профиля значительно больше удалена от передней точки тела, чем у мужчин. У многих женщин в положении скольжения с вытянутыми вперед руками наибольшая ширина профиля находится в границе расположения таза /рис.8,9/. Таким образом, зона вероятного отрыва пограничного слоя у женщин перемещена дальше назад по сравнению с мужчинами, у которых наибольшая ширина профиля размещена в области грудной клетки. Ю.Г.Алеев /1962/, сравнивая морфологические показатели рыб, приходит к убеждению, что "...в ходе приспособления к быстрому движению наибольшая высота тела отодвигается назад, благодаря чему увеличивается то пространство, на котором обтекающий рыбу поток становится ламинарным, а также увеличивается участок безотрывного обтекания /зона вероятного отрыва перемещается назад/, вследствие чего сопротивление уменьшается".

Влияние плавучести тела. На тело человека в воде действуют две противоположно направленные силы: сила тяжести G и сила гидростатического давления воды Q . Если силы тяжести G равны силам гидростатического давления воды Q , то тело имеет нейтральную плавучесть. Если G больше Q , то плавучесть отрицательная, тело тонет. Если же Q больше G , плавучесть

честь тела положительная, тело всплывает на поверхность. Величины G и Q характеризуют так называемую плавучесть, которая тесно связана с удельным весом того или иного тела.

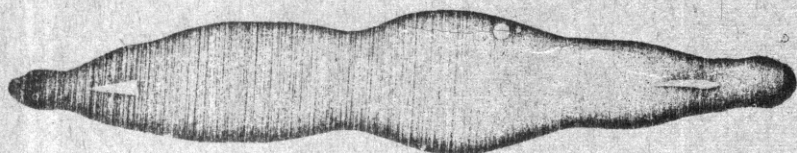


Рис. 8. Силуэт женщины.

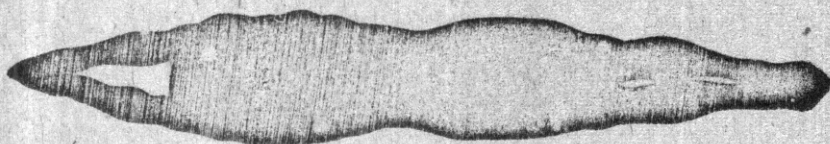


Рис. 9. Силуэт мужчины.

Нами был определен удельный вес и плавучесть 32 различных по возрасту, росту, весу и полу испытуемых. Плавучесть тела измерялась с помощью чувствительного динамометра по методу Прахта на глубоком вдохе и на предельном выдохе. Наши данные не имеют значительных расхождений с данными, полученными на пловцах в Институте физкультуры им. Лесгафта /Дмитриев и Столбов, 1959/. Так, средние данные удельного веса для мужчин на глубоком вдохе составляют 0,98, на полном выдохе - 1,035; для женщин - на глубоком вдохе 0,97, на полном выдохе - 1,015.

Если учесть, что человек во время плавания вынужден делать вдох и выдох, то, очевидно, удельный вес его колеблется в пределах единицы /удельный вес пресной воды/. Это необходимо учитывать при построении техники плавания и ныряния. В частности, во время ныряния, когда спортсмен перед стартом сделал глубокий вдох, плавучесть, как правило, положительна, и ныряющему

нужно затратить часть усилия на сохранение прямолинейного движения по горизонтали. Во время плавания, наоборот, на глубоком вдохе пловцу нужно затратить часть гребковых усилий для поддержания тела у поверхности воды. Нашей целью было изучить влияние плавучести тела на поверхности на суммарное* сопротивление воды.

Эксперимент заключался в буксировке испытуемых и замере суммарного сопротивления воды. Во время буксировки к пловцу прикреплялся с помощью тесемок плоский надувной поплавок к груди напротив мечевидного отростка. Замеры сопротивления производились в двух положениях: поплавок наполнялся воздухом объемом 2 л и заполнялся водой в таком же объеме.

Из приведенных данных /табл.7/, которые характерны для Т. и других испытуемых, отмечено уменьшение сопротивления воды при увеличении положительной плавучести испытуемого. Для того, чтобы лучше представлять, как увеличение или уменьшение силы сопротивления /в кг/ скажется на скорости плавания, в наших подсчетах приблизительно определено, что на дистанции 25 м каждые 0,1 кг снизят или увеличат скорость: на скорости 85 см/сек - 0,6 сек; на 110 - 0,4 сек; на 140 см/сек - 0,2 сек. и на 190 см/сек - 0,1 сек.

Во время буксировки испытуемых с дополнительной плавучестью отмечен значительный выход тела на поверхность воды. Это в какой-то мере уменьшает поверхность соприкосновения тела с водой, что, по-видимому, и является причиной уменьшения сопротивления. Интересно, что при попытке создать высокое положение тела с помощью изменения угла атаки, сопротивление воды увеличивается. Это можно объяснить тем, что подъемная сила в этом случае возникает за счет дополнительного давления воды на передние участки тела.

Таким образом, факторы, влияющие на величину подъемной силы, можно условно разделить на гидростатические и гидродинамические. К гидростатическим факторам относятся изменение глубины движения и поддерживающие приспособления /надувные или из плавучего материала/, к гидродинамическим - изменение угла атаки /до оптимальных величин/

* Термин "лобовое сопротивление" здесь не может быть применен, поскольку кроме сил давления и трения на тело, плавающее на поверхности, влияют силы волнообразования.

и гребковые движения конечностями. Однако нарушение горизонтального положения тела за счет увеличения угла атаки, как уже отмечалось, ведет к увеличению встречного сопротивления. Увеличение подъемной силы за счет гребковых движений связано с излишней затратой энергии спортсмена, которую целесообразнее использовать на создание силы тяги, т.е. на увеличение скорости продвижения вперед.

Влияние гидростатического равновесия тела в воде

Как уже отмечалось, на тело человека в воде действуют две противоположно направленные силы. И та, и другая приложены в центрах, которые не совпадают. Так, центр тяжести смещен несколько больше в сторону ног, а центр плавучести или центр гидростатического давления среды, — в сторону груди.

При горизонтальном положении тела в воде некоторое несовмещение центра тяжести и центра плавучести создает вращающий момент, который будет тем большим, чем больше расстояние между этими центрами. Это приводит к тому, что во время скольжения, например, ноги быстро опускаются ко дну, неизбежно увеличивая проекцию тела и, следовательно, лобовое сопротивление. У женщин это явление выражено меньше, чем у мужчин.

Для определения влияния гидростатического равновесия тела в воде на величину лобового сопротивления было измерено лобовое сопротивление испытуемых в положении скольжения на груди с искусственной поддержкой ног и без нее. Для поддержки ног применялись пенопластовые накладки на ноги и резиновый надувной вкладыш в плавки /рис. 10/. В эксперименте принимали участие 8 испытуемых: 6 мужчин и 2 женщины /табл.8/.

Из данных, приведенных в табл.8, видно, что величина сопротивления в буксировке с поддержкой ног значительно снизилась, особенно на небольших скоростях. И лишь у испытуемой Ж. этот показатель на скоростях до 140 см/сек существенно не изменился, а на скорости 190 см/сек — даже несколько увеличился. Испытуемая Ж. обладала большой плавучестью и отсутствием момента вращений. Поэтому искусственная поддержка ног /пенопластовая накладка/ вызывала только дополнительное сопротивление.

Дополнительно был проведен эксперимент с моделью. Путем изменения расстояния между центром тяжести и центром плавучести перемещением дополнительных грузиков внутри модели было опро-
бовано пять различных вариантов /табл.9/.

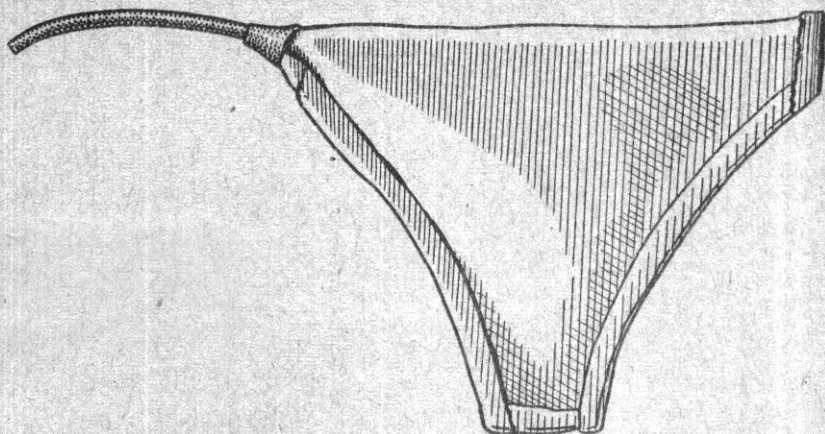


Рис. 10. Надувной вкладыш в плавки.

Как видно из данных табл. 9, удаление грузика от центра плавучести и, таким образом, усиление момента вращения ведет к увеличению лобового сопротивления.

Влияние нарушения гидростатического равновесия сказалось и на кривой сопротивления средних данных всех испытуемых. При сравнении квадратичной параболы, изображенной на рис. II сплошной линией, со средними данными сопротивления испытуемых заметно увеличение отклонения кривой от параболы с уменьшением скорости движения тела в воде. Можно полагать, что при строго горизонтальном положении тела его сопротивление встречному потоку воды очень близко к квадратичной параболе. Это позволяет сделать заключение, что нарушение гидростатического равновесия, т.е. нарушение горизонтального положения тела пловца, увеличивает силу сопротивления встречного потока воды. Чем больше отдален центр тяжести от центра плавучести и чем меньше скорость движения тела, тем больше увеличивается сопротивление среды.

ВЫВОДЫ

I. На сопротивление встречного потока воды в значительной

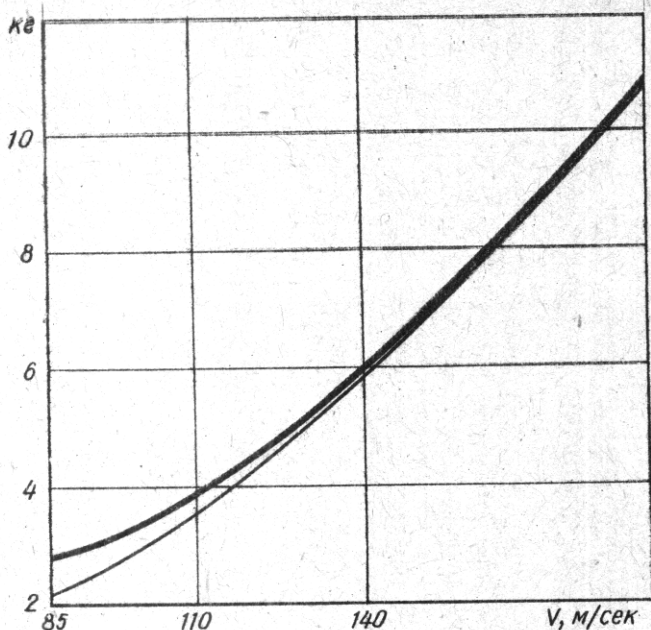


Рис. II. Отклонение средних показателей лобового сопротивления у испытуемых от квадратичной кривой:
 /—/ средние показатели; /-/-/ квадратичная кривая.

мере влияют следующие морфологические отличия пловцов:
 а/ поперечные размеры тела /миделево сечение/; б/ общие размеры тела /количество поверхности тела на 1 кг веса/; в/ плавучесть тела; г/ гидростатическое равновесие тела в воде; д/ обтекаемость форм тела и его общая конфигурация; е/ эластичность кожных покровов.

2. "Идеальным пловцом", испытывающим наименьшее сопротивление со стороны воды, по морфологическим данным можно считать такого, который обладает высоким ростом с большим соотношением

Т а б л и ц а 7

Изменение силы сопротивления /в кг/ в зависимости
от изменения плавучести тела испытуемых

Условия буксировки	Скорость, см/сек			
	85	110	140	190
Поплавок заполнен 2 л воздуха	2,6	3,6	6,0	11,8
Поплавок заполнен 2 л воды	3,2	4,2	6,8	13,0

Т а б л и ц а 8

Изменение силы сопротивления /в кг/ в зависимости
от наличия поддержки ног

Испытуемые и условия буксировки	Скорость, см/сек			
	85	110	140	190

Мужчины

Я. с поддержкой ног	2,5	4,1	6,9	12,0
без поддержки	3,0	4,2	6,8	12,2
С. с поддержкой ног	2,8	4,5	7,4	13,2
без поддержки	3,5	5,2	7,7	13,6
Ш. с поддержкой ног	2,9	4,0	6,8	12,0
без поддержки	3,5	4,6	7,3	13,0
Т. с поддержкой ног	2,6	3,8	6,0	11,8
без поддержки	3,0	4,1	6,6	12,4
Ч. с поддержкой ног	2,2	3,4	5,5	11,0
без поддержки	2,7	3,7	5,8	11,2
Л. с поддержкой ног	2,0	3,0	5,0	10,5
без поддержки	2,2	3,2	5,5	10,8

Женщины

Г. с поддержкой ног	1,7	2,8	4,0	9,5
без поддержки	2,0	3,2	4,5	9,8
с поддержкой ног	2,0	3,2	4,6	10,4
Ж. без поддержки	2,1	3,3	4,6	10,0

Величина силы сопротивления модели /в кг/
в зависимости от взаимного расположения центра
тяжести и центра плавучести

Условия буксировки	Скорость буксировки, см/сек			
	85	110	140	190
Положительная плавучесть в равновесии	2,2	3,4	6,0	11,2
Нулевая плавучесть в равновесии	2,3	3,6	6,5	11,8
Положительная плавучесть с удалением центра тяжести на 10 см	2,4	3,6	6,4	11,7
Положительная плавучесть с удалением центра тяжести на 20 см	2,6	3,9	6,6	12,0
Положительная плавучесть с удалением центра тяжести на 30 см	3,0	4,4	6,8	12,2

длины тела к его поперечным размерам; высокой положительной плавучестью с хорошей устойчивостью тела в горизонтальном положении; с оптимальной размерно расположенной жировой прослойкой по всему телу, которая обеспечивает обтекаемость форм тела и придает поверхности тела амортизирующие свойства - эластичность, мягкость и т.п.

8. Экспериментальное определение гидродинамических качеств пловцов и измерение силы гребковых движений как проявление их физических качеств позволило бы более направлено строить учебно-тренировочный процесс и ожидать более определенных результатов от того или иного пловца. Например, при одинаковых результатах двух спортсменов, большая вероятность роста результатов у того спортсмена, у которого лучшие гидродинамические качества. Некоторые аспекты рассмотренной проблемы могут быть интересны и для бионики.

ЛИТЕРАТУРА

А л е е в Ю.Г. Функциональные основы внешнего строения рыбы. Изд-во АН СССР, 1963.

Д м и т р и е в а А.К. и С т о л б о в а Н.Ф. Плавание. Ф.и С., 1959.

О н о п р и е н к о Б.И. О силе гребковых движений в спортивных способах плавания. - Теория и практика, 11, 1961.

П а в л е н к о Г.Е. Сопротивление воды движению судов. Изд-во водного транспорта, 1953.

П р а н д т л ь Л. Гидроаэромеханика. ИЛ., 1949.

Ш у л е й к и н В.В. Очерки по физике моря. Изд-во АН СССР, 1952.

Ш у л е й к и н В.В., Л у к ь я н о в а В.С., С т а с ь И.И. Гидродинамическое качество рыб и дельфинов. - Изв. АН СССР, 3, 1937.

Х а й к и н С.Э. Физические основы механики. Изд-во физ.-мат. лит-ры, М., 1962.