

ВЛИЯНИЕ ВОЛОСЯНОГО ПОКРОВА НЕКОТОРЫХ ВИДОВ НАСТОЯЩИХ ТЮЛЕНЕЙ (PHOCIDAE) НА ВЕЛИЧИНУ ОБЩЕГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Ю. Е. МОРДВИНОВ и Б. В. КУРБАТОВ

Институт биологии южных морей Академии наук Украинской ССР (Севастополь)

В результате экспериментов, проведенных в биогидродинамическом канале, установлено влияние волосяного покрова на теле дальневосточной ларги (*Phoca vitulina largha* Pall.) и байкальского тюленя (*Pusa sibirica* Gmel.), а также кожного покрова этих животных, лишенного волос, на величину полного гидродинамического сопротивления при плавании. Отмечено снижение значений сил гидродинамического сопротивления за счет волосяного покрова на теле животных по сравнению с шероховатым микрорельефом поверхности кожи тюленей, лишенной волос. Аэродинамически гладкие поверхности (в наших экспериментах модели, окрашенные белыми) дают еще более низкие показатели величин полного гидродинамического сопротивления.

К настоящему времени в отечественной и зарубежной литературе имеется довольно большое число работ, посвященных строению кожного и волосяного покровов отдельных представителей отряда Pinnipedia в связи с особенностями их образа жизни (Allen, 1880; Смирнов 1908; Bartlett, 1927; Howell, 1930; Bergersen, 1931; Дорофеев, 1936; Mohr, 1952; Соколов, 1960, 1965; Белькович, 1961, 1964 и мн. др.). В большинстве работ вышеперечисленных авторов, касающихся волосяного покрова, рассматривается строение отдельных категорий волос, их число в пучке, изменение количества волос и их окраски с возрастом и по сезонам у отдельных видов, проводится сравнение строения волос с таковым у наземных млекопитающих и т. д. Рассматривается разнообразие функций, которые выполняет волосяной покров этих животных при нахождении их в воздушной и водной среде. Волосы являются теплоизолятором, редукция сердцевинного слоя и преобладающее развитие коркового слоя придают им большую прочность и эластичность, позволяющие лучше противостоять трению и растяжению при передвижении ластиногих по твердому субстрату; предполагается, что волосы облегчают скольжение животного в воде при плавании и т. д.

Однако экспериментальных подтверждений демпфирующей роли волосяного покрова ластиногих при плавании в воде, насколько нам известно, в литературе не приводится.

Цель данной работы — с помощью экспериментов выявить влияние волосяного покрова некоторых настоящих тюленей на величину общего гидродинамического сопротивления, которое создается при плавании животных. Для этого были изготовлены две деревянные модели длиной $L_{ср} = 60,0$ см, по форме приближающиеся к форме тела настоящих тюленей и уменьшенные в 1,5 раза. Основные параметры — такие, как сечения моделей на всем их протяжении, наибольшие высоты и ширины, расстояния от конца носа до наибольших высот и ширин, соответствовали оригиналам. Передние и задние ласты на моделях сделаны не были, так

как в данных экспериментах не ставилась задача выявления влияния конечностей на величину гидродинамического сопротивления. Поверхности моделей для придания им гладкости тщательно отшлифовывались и покрывались белилами. Отличия одной модели от другой заключались в величине диаметров их сечений. Малая модель (мы условно их будем называть малой и большой) в наибольшем диаметре была меньше большой модели на 6 мм. Геометрические размеры малой модели, обшитой шкурой одного из видов тюленей, соответствовали размерам и общей площади поверхности большой модели, и, таким образом, полученные величи-

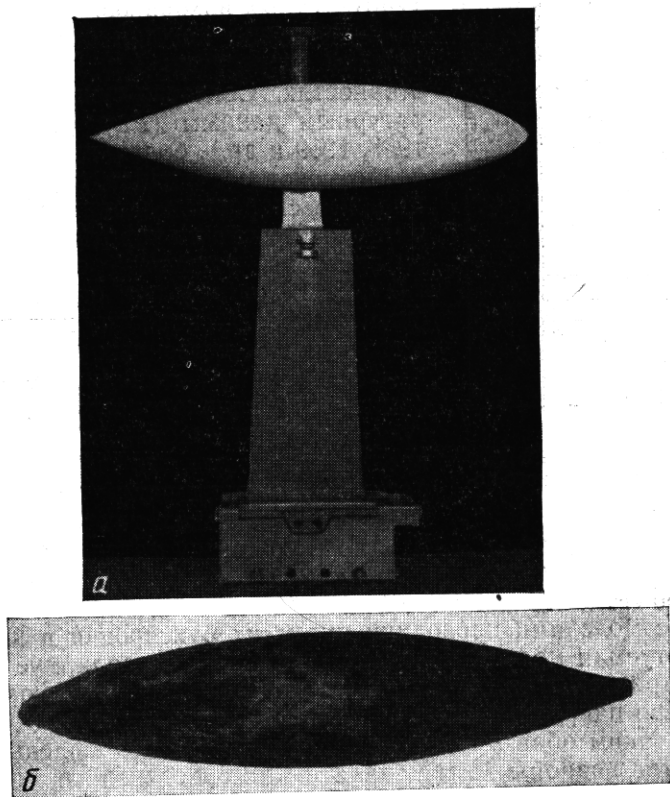


Рис. 1. Общий вид большой окрашенной модели тюленя, прикрепленной к консоли (А), и малой модели тюленя, обшитой шкурой ларги с волосами (Б)

ны полного гидродинамического сопротивления при буксировке с определенными скоростями малой модели, обшитой шкурой тюленя, можно было бы сопоставлять с таковыми большой модели. В экспериментах была использована шкура 2-годовалой дальневосточной ларги (*Phoca vitulina largha* Pall.) и 5-летнего байкальского тюленя (*Pusa sibirica* Gmel.). Шкуры были консервированные и перед обтягиванием модели размачивались. На рис. 1, а, б показан общий вид большой окрашенной модели тюленя, прикрепленной к консоли, и малой модели тюленя, обшитой шкурой ларги с волосами.

Вначале проводились эксперименты с малой и большой моделями тюленей, поверхности которых были покрыты белилами. Затем малую модель обтягивали шкурой ларги и шкуру сшивали с ventральной частью модели так, чтобы на ней не было никаких складок и выступов, а волосяной покров располагался как у живого зверя, и опыты повторялись.

Далее волосяной покров на шкуре ларги тщательно выщипывали с корнем без нарушения кожного покрова и ставили эксперименты с выявлением общей величины гидродинамического сопротивления при таком покрытии модели. Аналогичные опыты проводились со шкурой байкальского тюленя, покрытой волосяным покровом и без него. На рис. 2 показано строение верхнего слоя кожи ларги без волосяного покрова, формирующего своеобразный микрорельеф поверхности кожи. Такое строение поверхности увеличивает ее шероховатость и способствует возрастанию силы общего гидродинамического сопротивления, как это видно из нижеизложенного, за счет возникновения мелких турбулентных вихорьков.

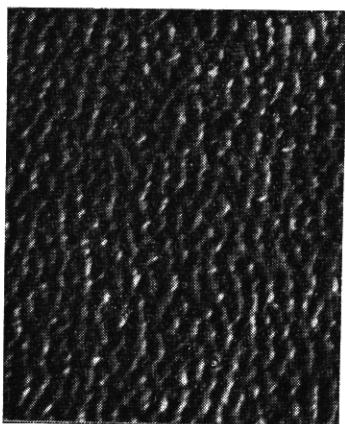


Рис. 2. Структура верхнего слоя кожи ларги без волосяного покрова

Буксировка каждой модели производилась со скоростями 3 и 6 м/сек в 6—8 повторностях. Согласно существующим литературным данным (Ray, 1963; Мордвинов, 1968, 1969 и др.), большинству представителей семейства Phocidae свойственны оптимальные скорости плавания 2,5—3,5 м/сек; в момент броска на короткие дистанции звери способны развивать скорость до 5,0—7,0 м/сек. Поэтому при опытах с моделями были выбраны скорости, характерные для животных в естественных условиях.

Эксперименты ставились в биогидродинамическом канале отдела нектона Института биологии южных морей АН УССР, предназначенном для проведения самых различных исследований по биогидромеханике как на моделях, так и на живых нектарах. Канал представляет собой открытую сверху металлическую емкость, имеющую прямоугольную форму, длиной 21 м и площадью поперечного сечения 0,85 м².

Опыты с моделями проводили путем их буксировки в неподвижной воде. Испытуемая модель жестко крепилась к консоли, установленной на тензометрических весах (рис. 1), находящихся на платформе, перемещающейся по направляющему монорельсу над каналом. Длина консоли подобрана таким образом, что прикрепленная к ней модель располагалась в центре водной массы канала и при определенных соотношениях поперечных размеров моделей, сечения канала, а также скоростей буксировки сводилось к минимуму влияние пристеночного эффекта канала на испытываемую модель. В качестве чувствительного элемента весов использовались тензометрические датчики сопротивления, наклеенные на стальную плоскую пружину. Силы гидродинамического сопротивления, возникающие при движении модели в воде, через рычажную систему весов создают изгибающий момент на пружине тензодатчика, электрический сигнал с которого передается по гибкому кабелю на вход тензометрического усилителя и после усиления записывается на осциллограмму шлейфового осциллографа. При этом одновременно осциллографируются отметки времени (сек) и отметки расстояния (м), пройденного моделью при буксировке, что дает возможность получить скорость движения модели на любом участке канала. Отсюда по полученной осциллограмме можно судить о величине силы общего сопротивления движению модели и соответствующей скорости. Для расшифровки осциллограмм до и после экспериментов проводилась тарировка датчика. На основании построенных тарировочных графиков было установлено, что изменение амплитуды сигнала датчика на осциллограмме на 1 мм соответствует изменению силы сопротивления на 0,1 кг. Таким образом, это дало нам возможность производить расшифровку осциллограмм с точностью до

0,05 кг. На рис. 3 приведены осциллограммы сил полного гидродинамического сопротивления, возникающих при буксировке большой модели тюленя, малой модели тюленя, обшитой шкурой ларги с волосами и шкурой ларги, лишенной волосаного покрова соответственно при скоростях 3 и 6 м/сек. Полученные результаты экспериментов сведены в таблицу, в кото-

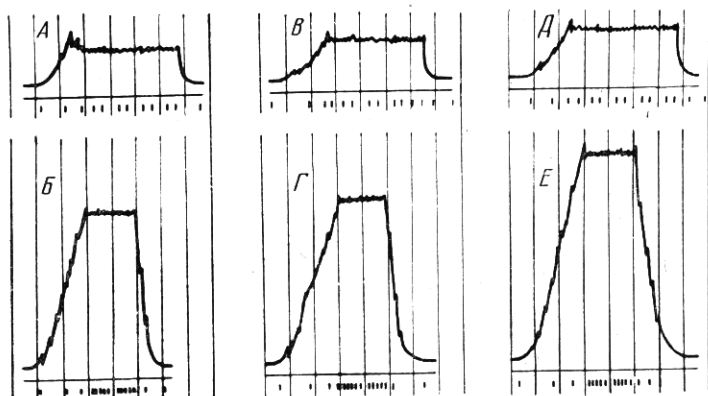


Рис. 3. Осциллограммы сил полного гидродинамического сопротивления движению моделей при буксировках в канале со скоростями 3 м/сек (А, В, Д) и 6 м/сек (Б, Г, Е)

А, Б — для большой окрашенной модели тюленя; В, Г — для малой модели тюленя, покрытой шкурой ларги с волосами; Д, Е — для малой модели тюленя, лишенной волосаного покрова. Показаны отметки времени (длинные линии) и метража (короткие штрихи)

рой приводятся также значения чисел Рейнольдса и коэффициентов полного сопротивления движению различных моделей при разных скоростях буксировки. Коэффициенты полного гидродинамического сопротивления вычислялись по формуле, существующей в гидромеханике для установившегося режима движения:

$$c_x = \frac{F}{\rho \cdot \frac{V^2}{2} \cdot S} = \frac{2F}{\rho \cdot V^2 \cdot S},$$

где F — сила полного сопротивления движущегося в воде тела (кг); ρ — плотность воды; V — скорость движения тела (м/сек); S — площадь всей поверхности тела (m^2).

Силы полного гидродинамического сопротивления движущихся в воде моделей (F кг) найдены экспериментальным путем. Плотность воды $\rho = 102$. Скорости буксировки моделей (V) задавались. Площади поверхностей моделей высчитывались. Площадь малой окрашенной модели равнялась $0,165 m^2$, площадь малой модели, покрытой шкурой ларги с волосами, $0,177 m^2$, площадь большой окрашенной модели $0,177 m^2$.

Анализируя данные таблицы, можно видеть, что все буксируемые модели, равно как и животные, плавающие в естественных условиях со скоростями 3 и 6 м/сек, по-видимому, находятся в турбулентном режиме обтекания, так как числа Рейнольдса (Re) лежат в пределах $1,8 \cdot 10^6$ — $3,6 \cdot 10^6$.

Полученные значения сил полного гидродинамического сопротивления для моделей с различными покрытиями и скоростями буксировок существенно отличаются друг от друга. Если при скорости движения моделей 3 м/сек величины общего сопротивления равны 1,00—1,80 кг, то при скорости 6 м/сек они резко возрастают до 4,10—8,10 кг. Причем, как можно заметить, малая и большая модели тюленей, окрашенные белилами, испытывают наименьшее сопротивление движению и харак-

Испытуемые модели	Число опытов, n	Скорости буксировки моделей, v м/сек	Число Рейнольдса, Re	Величина полного гидродинамического сопротивления, F_{kg}		Коэффициент полного гидродинамического сопротивления, C_x
				$min-max$	M	
Малая модель тюленя	8	3	$1,8 \cdot 10^6$	0,90—1,05	1,00	0,013
	8	6	$3,6 \cdot 10^6$	4,05—4,20	4,10	0,013
Большая модель тюленя	8	3	$1,8 \cdot 10^6$	1,25—1,45	1,30	0,016
	7	6	$3,6 \cdot 10^6$	6,00—6,35	6,20	0,019
Малая модель тюленя, обтянутая шкурой ларги с волосами	7	3	$1,8 \cdot 10^6$	1,45—1,50	1,50	0,018
	7	6	$3,6 \cdot 10^6$	6,50—6,70	6,60	0,020
Малая модель тюленя, обтянутая шкурой ларги, лишенной волосяного покрова	8	3	$1,8 \cdot 10^6$	1,80—1,95	1,80	0,022
	8	6	$3,6 \cdot 10^6$	8,20—8,35	8,30	0,025
Малая модель тюленя, обтянутая шкурой байкальского тюленя с волосами	6	3	$1,8 \cdot 10^6$	1,40—1,75	1,60	0,018
	6	6	$3,6 \cdot 10^6$	6,35—6,60	6,40	0,020
Малая модель тюленя, обтянутая шкурой байкальского тюленя, лишенной волосяного покрова	7	3	$1,8 \cdot 10^6$	1,65—1,90	1,80	0,022
	6	6	$3,6 \cdot 10^6$	7,90—8,30	8,10	0,025

теризуются сравнительно небольшими коэффициентами полного гидродинамического сопротивления (0,013—0,019). Величина полного сопротивления малой модели тюленя, обтянутой шкурой ларги, и байкальского тюленя с волосяным покровом несколько больше, а коэффициенты C_x равны 0,020. Наибольшим гидродинамическим сопротивлением характеризуется малая модель, покрытая шкурой ларги и байкальского тюленя, лишенных волосяного покрова с $C_x = 0,022—0,025$.

Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных можно сделать заключение, что существующие ранее предположения некоторых исследователей (Соколов, 1960; Белькович, 1961 и др.) о демпфирующей роли волосяного покрова ластиногих при плавании в воде подтвердились. Снижение гидродинамического сопротивления за счет волосяного покрова наблюдается только по сравнению с шероховатым микрорельефом поверхности кожи тюленей, аэродинамические же гладкие поверхности — такие, как кожа китообразных и, в частности, дельфинов (а в наших экспериментах модели, окрашенные белилами) дают еще более низкие величины общего сопротивления и коэффициентов C_x .

Поскольку эксперименты проведены не с живыми зверями, а только с их моделями, авторы полагают, что вопрос о количественной характеристике гидродинамических особенностей волосяного покрова тюленей нельзя считать окончательно решенным. Более однозначные результаты могут быть получены при экспериментах с живыми ластиногими.

ЛИТЕРАТУРА

- Белькович В. М., 1961. Приспособительные особенности строения кожного покрова водных млекопитающих, Автореф. канд. дисс.: 21, М.—1964. Строение кожного покрова некоторых ластиногих, Сб. «Морфологические особенности водных млекопитающих»: 5—47, Изд-во «Наука», М.
- Дорофеев С. В., 1936. Материалы по детному периоду жизни гренландского тюленя, Тр. Полярн. комиссии, 31: 1—39.
- Мордвинов Ю. Е., 1968. Наблюдения над локомоцией некоторых ластиногих (Pinnipedia), Зоол. ж., 47, 9: 1394—1402.—1969. Функциональные основы внешнего строения ластиногих: 1—21, Автореф. канд. дисс., Баку.
- Смирнов Н. А., 1908. Очерк русских ластиногих, Зап. Акад. наук, 4, сер. VIII: 1—76, СПб.

- Соколов В. Е., 1960. Структура кожного покрова ластоногих, Бюлл. Моск. о-ва испыт. природы, 65, 4: 5—17.— 1965. Приспособительные особенности кожного покрова водных млекопитающих, Сб. «Морские млекопитающие»: 266—272, Изд-во «Наука», М.
- Allen J., 1880. History of American Pinnipeds, Washington Government printing office: 785.
- Bartlett R. A., 1927. Newfoundland seal, J. Mammol., 8, 3: 207—212.
- Bergersen B., 1931. Beiträge zur Kenntnis der Haut einiger Pinnipeden: 179, Oslo.
- Howell A., 1930. Aquatic Mammals: 1—138, Baltimore.
- Mohr E., 1952. Die Robben der europäischen Gewässer, Monogr. der Wildsaugetiere, 12: 1—283, Frankfurt am Main.
- Ra y C., 1963. Locomotion in pinnipeds. Natural History, 72, 3: 10—21.

INFLUENCE OF HAIR COVER IN SOME SPECIES OF PHOCIDAE UPON THE VALUE OF GENERAL HYDRODYNAMICAL RESISTANCE

Yu. E. MORDVINOV and B. V. KURBATOV

*Institute of Biology of South Seas, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR
(Sebastopol')*

Summary

The experiments on models of *Phoca vitulina largha* Pall. and *Pusa sibirica* Gmel. in a biohydrodynamical channel have shown that their hair cover decreases the value of general hydrodynamical resistance as compared with the rough surface of their hair-free skin.
