

УДК 639.2.065

ЗАВИСИМОСТЬ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДОННОГО ТРАЛА
ОТ СКОРОСТИ ТРАЛЕНИЯ

М. М. Розенштейн

Производительность трала, кроме других показателей, определяется горизонтальным и вертикальным раскрытием трала, а также площадью устья. Численное значение каждого из указанных параметров зависит от размеров трала, схемы его оснастки и скорости траления и обычно определяется в процессе технических испытаний, проводимых в морских условиях. Для большинства конструкций тралов, эксплуатируемых на промысле, путем морских испытаний выяснен характер изменения параметров раскрытия от скорости траления. Однако эти данные еще не обобщены таким образом, чтобы их можно было применить к каким-либо другим тралам, не прошедшим испытания, и потому не могут быть широко использованы при проектировании и эксплуатации тралов. Установление общих закономерностей, характерных для изменения параметров донного трала от скорости траления, позволило бы определять технические характеристики трала расчетным путем в стадии его проектирования, а в морских испытаниях, значительно сокращенных по объему, осуществлять лишь проверку и уточнение расчетных данных.

Настоящие исследования являются попыткой решения поставленной задачи на основе опытных данных, полученных во время экспериментальных работ с промысловыми тралами непосредственно в море и с моделями тралов на испытательной станции в открытом водоеме.

Экспериментальные работы с промысловыми тралами осуществлялись с судов СРТ-300 и СРТ-400 л. с. в Балтийском море (на глубинах 43—47 м) в декабре 1962 г. и марте 1963 г.

Типы испытанных тралов и соответствующих им траловых досок приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ пп.	Тип трала	Траловые доски
1	32/22,5 м	Овальные однощелевые площадью 2,5 м ²
2	27,1/27,4 м	Овальные однощелевые площадью 3,0 м ²

№ пп.	Тип трала	Траловые доски
3	27,1/27,4 м	Овальные однощелевые площадью 2,5 м ²
4	27,1/27,4 м	Овальные четырехщелевые площадью 2,0 м ²
5	17 м Тарарина	Овальные однощелевые площадью 3,0 м ²
6	То же	Овальные четырехщелевые площадью 2,0 м ²

Все тралы оснащались кабелями, длина которых была одинаковой — 50 м. Длина ваера во всех тралениях была также одинаковой — 300 м.

Испытания каждого варианта «трал-траловые доски» проводились в диапазоне скоростей 2,5—3,9 узла, при этом измерялись следующие параметры: суммарное усилие в ваерах, горизонтальный угол расхождения ваеров, вертикальный угол между ваером и горизонтом, расстояние между клячевками, вертикальное раскрытие и скорость траления. Указанные измерения осуществлялись с помощью механических (расстояние между клячевками и вертикальное раскрытие) и электромеханических приборов. Показания последних записывались на магнитоэлектрическом осциллографе типа МПО-2. Предварительно проведенная тарировка приборов показала, что их приведенная точность составляла 5—7%.

Средние значения параметров по данным проведенных испытаний приведены в табл. 2. Площади устья тралов в табл. 2 для каждого варианта и скорости траления подсчитаны по выражению

$$F = lH, \quad (1)$$

где l — расстояние между клячевками, м;

H — вертикальное раскрытие трала, м.

На испытательной станции института (Виштынецкое озеро Калининградской области) в мае — сентябре 1964 г. были проведены экспериментальные работы с моделью трала 32/22,5 м. Методика эксперимента базировалась на теории подобия рыболовных орудий, разработанной А. Л. Фридманом [8, 9]. Модель была выполнена из натурной дели в линейном масштабе 1 : 3,86. Масштабы скорости и усилий были соответственно равны 1 : 1,96 и 1 : 57,5. В процессе эксперимента в диапазоне скоростей траления 0,5—1,25 м/сек (1,9—4,75 узла в пересчете на натуру) проводились замеры (наряду с параметрами, фиксируемыми в натуральных испытаниях тралов) усилия в кабеле и угла атаки траловой доски, средние значения которых приведены в табл. 3. Данные испытания модели трала (в пересчете на натуру) достаточно хорошо совпадали с результатами натуральных испытаний.

Прежде чем приступить к непосредственному анализу экспериментальных данных, представляется целесообразным определить те главные, определяющие факторы, от которых зависят значения горизонтального и вертикального раскрытия тралов.

В общем случае горизонтальное раскрытие l и вертикальное раскрытие H зависят от размеров тралов и их формы (длины верхней подборы S и длины по топенанту L), скорости траления v , сопротивления сетной части R , распорной силы траловых досок T и вертикальной силы плавучести оснастки верхней подборы Q .

Таблица 2

Номер варианта	Тип трала	Тип траловой доски	Число оборотов главного двигателя	Скорость траления, узлы	Мощность, л. с.	Усилие в ваерах, кг	Горизонтальное раскрытие, м	Вертикальное раскрытие, м	Площадь, м ²
1	Трал 32/22,5 м, испытан на СРТ-400	Овальные однощелевые площадью 2,5 м ²	180	2,6	127	642	32	8,4	269
			208	2,9	189	1920	31	8,8	273
			224	3,3	256	2440	32	7,4	237
			258	3,9	350	4130	32	6,6	211
2	Трал 27,1/27,4 м, испытан на СРТ-300	Овальные однощелевые площадью 3,0 м ²	238	2,2	131	1710	30	6,0	180
			253	2,3	158	2300	30	3,8	114
			240	2,4	133	1900	27	5,1	138
			285	2,5	223	2460	29	4,8	139
			255	2,6	163	2070	29	5,1	148
			297	3,0	254	3010	31	4,5	139
3	Трал 27,1/27,4 м, испытан на СРТ-400	Овальные однощелевые площадью 2,5 м ²	192	2,6	147	2380	29	5,3	154
			220	3,2	224	3600	29	5,0	145
			232	3,3	269	3450	31	4,1	127
			252	3,4	350	4170	31	3,6	112
4	Трал 27,1/27,4 м, испытан на СРТ-300 в диапазоне скоростей 2,7—3,1 узла и на СРТ-400 в диапазоне скоростей 3,0—3,6 узла	Овальные четырехщелевые площадью 2,0 м ²	256	2,7	156	2210	31	5,0	155
			275	2,8	190	2500	31	5,0	155
			300	3,0	244	2850	30	4,7	141
			288	3,1	220	2320	29	4,6	133
			192	3,0	147	2220	30	4,3	129
			222	3,2	243	2580	29	3,4	99
			232	3,4	269	3320	28	3,5	98
			252	3,6	351	3900	29	3,2	93
5	Трал 17 м (Тарарина), испытан на СРТ-300	Овальные однощелевые площадью 3,0 м ²	237	2,3	—	1275	26	3,6	94
			248	2,7	134	2290	25	2,6	65
			257	2,8	—	1970	31	2,6	81
			301	2,8	—	2130	25	3,2	80
			279	3,1	—	2180	26	2,4	62
			280	3,1	208	2850	29	2,6	75
			292	3,2	235	2750	28	2,7	76
292	3,2	—	2260	26	2,6	68			
6	То же	Овальные четырехщелевые площадью 2,0 м ²	239	2,8	121	1720	28	3,4	95
			257	2,9	151	2105	29	3,5	101
			304	3,1	253	2810	27	2,7	73
			280	3,2	197	2380	26	3,4	88
			291	3,3	221	2620	26	3,2	83

Сказанное можно представить в виде двух следующих выражений:

$$l = f_1(S, L, v, R, T, Q), \quad (2)$$

$$H = f_2(S, L, v, R, T, Q). \quad (3)$$

Следует оговориться, что значения сил R и T в свою очередь зависят от ряда величин, характеризующих трал и среду, в которой он движется (в частности, от плотности среды ρ и вязкости μ).

Считаем основными величинами, стоящими под знаками функций в выражениях (2) и (3), S , v и Q с размерностями соответственно [м], [м/сек] и [кг].

№ пп.	Скорость траления, м/сек	Суммарное усилие в кабелях, кг	Суммарное усилие в варах, кг	Угол атаки траловой доски, град	Расстояние между клечками, м	Расстояние между досками, м	Примечание
1	0,74	48	58,0	22,5	8,9	13,8	Приводимые значения усилий, скоростей траления, углов атаки и горизонтальных раскрытий получены в результате осреднения 20—30 единичных замеров
2	0,83	54	60,5	26,2	9,6	14,8	
3	0,89	60	77,0	25,5	9,5	14,8	
4	0,93	64	78,0	26,1	8,3	13,2	
5	0,97	68	84,0	27,0	9,4	15,7	
6	1,00	72	82,0	27,5	9,7	14,9	
7	1,05	76	97,5	29,0	9,8	16,8	
8	1,10	79	95,0	28,4	10,2	17,1	

В соответствии с П-теоремой представим связь между размерными величинами, описываемыми уравнениями (2) и (3), как связь между безразмерными комбинациями этих величин, уменьшив тем самым число переменных на три.

Получим

$$\frac{l}{S} = \varphi_1 \left(1, 1, 1, \frac{L}{S}, \frac{R}{Q}, \frac{T}{Q} \right), \quad (4)$$

$$\frac{H}{S} = \varphi_2 \left(1, 1, 1, \frac{L}{S}, \frac{R}{Q}, \frac{T}{Q} \right). \quad (5)$$

Согласно теории размерности и подобия при выборе определяющих комбинаций допускается произвол в том смысле, что вместо комбинаций Π_1, Π_2 и Π_3 можно брать комбинации $\Pi \frac{\Pi_2}{\Pi_3}, \Pi_3$ или $\Pi_1 \Pi_2, \Pi_2 \Pi_3$ и т. д. Тогда выражения (4) и (5) можно переписать следующим образом:

$$\frac{l}{S} = \psi_1 \left(\frac{L}{S}, \frac{T}{R}, \frac{R}{Q} \right), \quad (6)$$

$$\frac{H}{S} = \psi_2 \left(\frac{L}{S}, \frac{T}{R}, \frac{R}{Q} \right). \quad (7)$$

Стоящие под знаком функций безразмерные комбинации должны быть по величине постоянны для всех подобных систем тралов. Выражение $\frac{L}{S} = \text{idem}$ — есть условие геометрического подобия, $\frac{T}{R} = \text{idem}$ и $\frac{R}{Q} = \text{idem}$ — условия силового подобия.

Полученное выражение (6) можно сопоставить с соответствующим выражением для горизонтального раскрытия трала, данным Ф. И. Барановым [3]. В наших обозначениях оно имеет вид:

$$l = \frac{x \frac{T}{R}}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{R} \right)^2}}, \quad (8)$$

где x — некоторый характерный линейный размер трала.

Представляя уравнение (8) в безразмерном виде, получим

$$\frac{l}{x} = \frac{\frac{T}{R}}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{R}\right)^2}} \quad (9)$$

Как вытекает из уравнения (9), горизонтальное раскрытие зависит от безразмерной комбинации $\frac{T}{R}$. При выводе выражения (8) автор полагал имеющим место условие $\frac{L}{S} = \text{idem}$, а поскольку задача решалась в плоскости, то, естественно, оказалось неучтенным влияние комбинации $\frac{R}{Q}$. Таким образом, выражения (6) не находятся в противоречии с полученным уравнением (9).

Оценим, насколько применительно к промысловым тралам выполняется условие $\frac{L}{S} = \text{idem}$. Результаты соответствующего анализа приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

№ пп.	Тип трала	Длина верхней подборы (включая голые концы), м	Длина по топенанту, м	$\frac{L}{S}$
1	Трал 32/22,5 м	82,0	88,8	1,08
2	Трал 27,1/27,4 м	77,1	75,3	0,98
3	Трал 27,1/25 м (окуневый)	55,3	65,0	1,17
4	Трал 15/21 м (окуневый)	56,0	79,0	1,4
5	Трал 17 м Тарарина	67,0	66,5	0,99

Как вытекает из табл. 4, для всех указанных тралов (за исключением окуневого трала 15/21 м, в настоящее время не эксплуатируемого на промысле), отношение $\frac{L}{S}$ имеет значения, близкие к 1. Следовательно, условие $\frac{L}{S} = \text{idem}$ имеет место для определенных групп тралов. Проверка выполнения условия $\frac{R}{Q} = \text{idem}$ показала, что для промысловых тралов разной конструкции это отношение изменяется в значительных пределах. В частности, для тралов, указанных в табл. 1, $\frac{R}{Q} = 10 \div 60$.

В качестве определяющего в выражениях (6) и (7) естественно принять комплекс $\frac{T}{R}$, поскольку он обобщает 5-ю и 6-ю комбинации выражений (4) и (5).

Распорная сила траловой доски T может быть представлена общепринятым выражением:

$$T = C_y \frac{\rho \omega}{2} v^2, \quad (10)$$

где C_y — гидродинамический коэффициент распорной силы, имеющий одинаковые значения для всех подобных типов траловых досок;

ρ — массовая плотность воды;

ω — площадь траловой доски;

v — скорость движения доски.

Считая $\frac{C_x \rho}{2} = \eta$, будем иметь

$$T = \eta \omega v^2. \quad (11)$$

Сила сопротивления сетной части трала R , как и для любого тела, может быть представлена выражением, аналогичным (10):

$$R = C_x \frac{\rho F}{2} v^2, \quad (12)$$

где C_x — гидродинамический коэффициент сопротивления;

F — площадь устья трала.

В общем случае $C_x = f(\text{Re})$. Если представить трал как систему нитей (или систему гладких круговых цилиндров бесконечного удлинения), то число Рейнольдса для определения сопротивления трала может быть подсчитано по выражению

$$\text{Re} = \frac{d_n v}{\nu}, \quad (13)$$

где d_n — диаметр нити, из которой сделана сетная часть трала;

v — скорость траления;

ν — кинематический коэффициент вязкости.

Диаметр ниток промысловых тралов в большинстве случаев не выходит из пределов 1,2—3,0 мм. Траления проводятся в диапазоне скоростей 2,5—4,5 узла. Для указанных пределов изменения диаметров ниток и скоростей траления $\text{Re} = 1 \cdot 10^3 \div 4,6 \cdot 10^3$. По данным М. Я. Алферьева [2], для гладких цилиндров бесконечного удлинения в этом диапазоне чисел Рейнольдса C_x меняет свои значения от 0,82 до 0,86, т. е. практически остается постоянным. Если предположить, что характер изменения C_x от Re для рыболовных ниток такой же, как и для гладких цилиндров (а такое предположение подтверждается экспериментальными данными ряда авторов [1, 4]), то для промысловых тралов в широком диапазоне скоростей траления имеет место условие $C_x = \text{const}$.

Полагая в выражении (12) $\frac{C_x \rho}{2} = \delta$, будем иметь

$$R = \delta F v^2. \quad (14)$$

Из рассмотрения экспериментальных данных, приведенных в табл. 2, вытекает, что значение площади устья трала зависит от скорости траления (с увеличением скорости площадь устья уменьшается). При определении силы сопротивления трала R по выражению (14) можно переменную площадь F заменить некоторой условной постоянной площадью S^2 , связанной с F , на основании экспериментальных данных табл. 2 следующим соотношением:

$$F = \zeta \frac{S^2}{v},$$

где ζ — коэффициент с размерностью м/сек.

Подставляя значения F в выражение (14), получим

$$R = \delta \zeta S^2 v. \quad (15)$$

Поскольку δ , ζ и S — постоянные величины, сопротивление трала связано со скоростью прямолинейной зависимостью.

Для проверки этого вывода воспользуемся экспериментальными данными, полученными при испытании модели трала 32/22,5 м (см. табл. 4), выполненной из натурной дели (диаметр нитки 1,08 мм).

С этой целью предварительно приведем выражение (15) к следующему безразмерному виду:

$$\frac{R}{\delta S^2 v^2} = \frac{\zeta}{v}. \quad (16)$$

Как указывалось выше, испытания модели проводились на скоростях траления 0,5—1,25 м/сек. Этим условиям соответствует диапазон чисел Рейнольдса от 10^3 до $2,5 \cdot 10^3$, в котором, как отмечалось, C_x имеет практически постоянные значения. Следовательно, для модели, как и для природы, характерна автомодельность по числам Рейнольдса.

Из анализа экспериментальных данных (см. рис. 1), обработанных

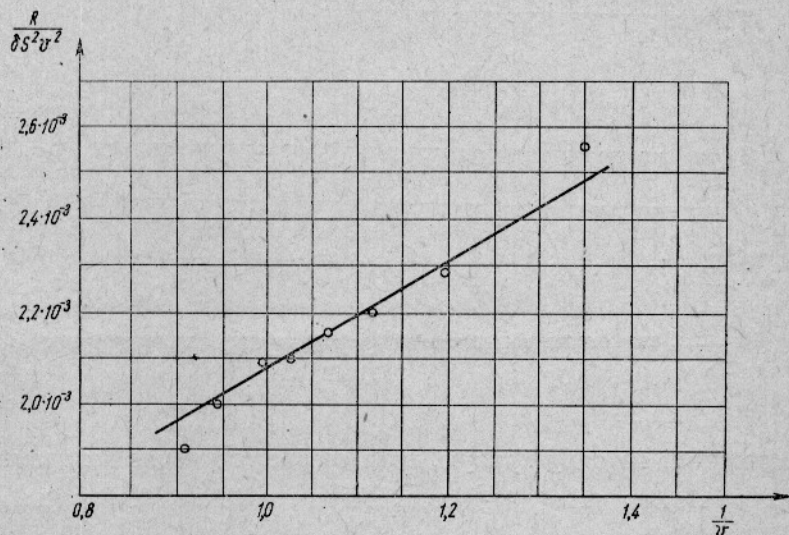


Рис. 1. Зависимость безразмерного сопротивления модели трала 32/22,5 м от безразмерной скорости.

в соответствии с выражением (16), вытекает, что зависимость между безразмерным сопротивлением модели и безразмерной скоростью траления в указанном диапазоне аппроксимируется выражением для прямой линии с точностью $\epsilon = \pm 0,33 \cdot 10^{-4}$ при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ ($\sigma_{cp} = 0,14 \cdot 10^{-4}$).

Таким образом, с учетом выражений (11) и (15) получаем

$$\frac{T}{R} = \frac{\eta \omega v^2}{\delta \zeta S^2 v} = K \frac{\omega v}{S^2}, \quad (17)$$

где $K = \frac{\eta}{\delta \zeta}$ — коэффициент с размерностью сек/м.

После обработки экспериментальных данных морских испытаний тралов (см. табл. 2) была получена зависимость безразмерного гори-

горизонтального раскрытия от безразмерной скорости $\frac{l}{S} = f\left(K \frac{\omega v}{S^2}\right)$, представленная на рис. 2. Комбинация $\frac{\omega v}{S^2}$ на оси абсцисс графика измеряется в долях коэффициента K , что позволило не производить его вычисления. Такой подход возможен, так как для данной группы тралов $K = \text{const}$.

При рассмотрении рис. 2 вытекает, что экспериментальные точки

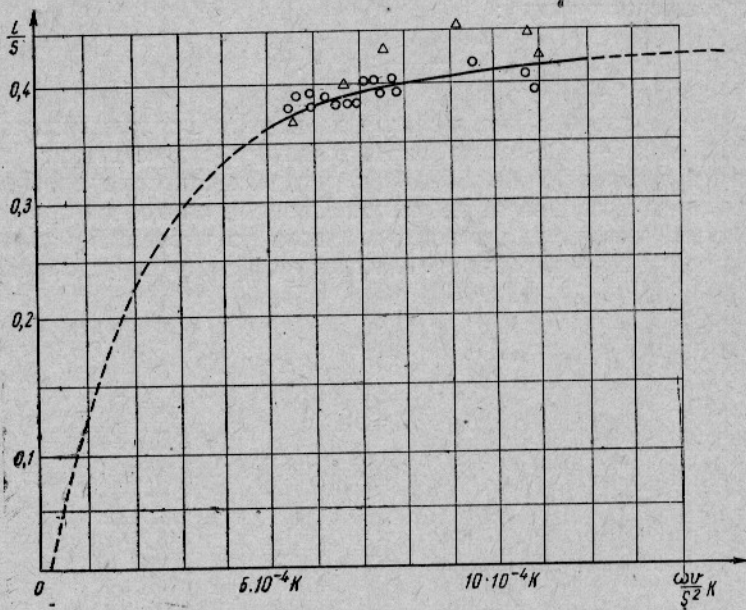


Рис. 2. Зависимость горизонтального раскрытия донного трала от величины $\frac{T}{R}$.

хорошо ложатся на одну кривую, хотя соответствующие им тралы имеют различные отношения $\frac{R}{Q}$ в диапазоне от 10 до 60. Отсюда можно сделать вывод, что в указанном диапазоне изменение значения $\frac{R}{Q}$ не отражается на величине $\frac{l}{S}$. Поэтому для отыскания аналитической зависимости безразмерного горизонтального раскрытия от безразмерной скорости было использовано следующее выражение, аналогичное (9):

$$\frac{l}{S} = \frac{m}{\sqrt{\frac{S^4}{\omega^2 v^2} + n}}, \quad (18)$$

где m и n — эмпирические коэффициенты, вычисленные с помощью «метода средних» [9].

Полученное эмпирическое выражение имеет вид:

$$\frac{l}{S} = \frac{13 \cdot 10^2}{\sqrt{\frac{S^4}{\omega^2 v^2} + 92 \cdot 10^5}}. \quad (19)$$

Уравнение (19) соответствует экспериментальным данным с точностью $\epsilon = \pm 4,5 \cdot 10^{-3}$ (при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ и $\sigma_{\text{ср}} = 2,05 \cdot 10^{-3}$).

Из анализа графика 2 и выражения (19) вытекает, что с увеличением скорости траления горизонтальное раскрытие растет, асимптотически приближаясь к некоторому значению, соответствующему $\frac{l}{S} = 0,433$

для рассматриваемой группы тралов. Однако из рассмотрения экспериментальных данных табл. 2 следует, что при оснастке тралов овальными четырехщелевыми досками площадью $2,0 \text{ м}^2$ характер изменения горизонтального раскрытия не соответствует выражению (19), так как для этих вариантов с увеличением скорости траления горизонтальное раскрытие падает. Этот факт объясняется следующим образом.

В выражении (17) допущено, что C_y слабо зависит от скорости траления, потому в первом приближении $T \sim v^2$. Это допущение правомерно лишь при условии работы досок на докритических углах атаки. В то же время из анализа опытных данных, полученных в экспериментальных работах с моделью трала 32/22,5 м, вытекает, что с повышением скорости угол атаки доски растет. Если угол атаки в процессе увеличения принимает закритические значения, то при этом значения C будут уменьшаться, а величина распорной силы становится не пропорциональной квадрату скорости.

По данным А. Л. Фридмана [10], приводящего результаты продувки траловых досок и пластин в аэродинамической трубе, падение C_y при увеличении угла атаки выше критического весьма значительно. Характер уменьшения C_y специфичен для каждой доски, так же как и значения критических углов атаки.

Анализ выражения (17) показывает, что при $T \sim v$ горизонтальное раскрытие не зависит от скорости траления. Если же распорная сила (в результате работы доски на закритических углах) становится пропорциональной скорости в степени, меньшей единицы, то горизонтальное раскрытие падает с увеличением скорости.

В промышленных условиях часто доски работают на углах, близких к критическим, или на закритических углах, что было установлено в процессе морских экспериментов с тралами. Этим объясняется падение горизонтального раскрытия с увеличением скорости траления для двух вариантов «трал—траловые доски» в наших опытах и в ряде других случаев, имеющих место на практике.

На рис. 3 приведены полученные на основе экспериментальных данных зависимости безразмерного вертикального раскрытия от безразмерной скорости. Как видно, экспериментальным точкам соответствуют две кривые. Одна из них характеризуется средним значением $\frac{R}{Q} = 25$, другая — $\frac{R}{Q} = 50$. Таким образом, для вертикального раскрытия, помимо комбинации $\frac{T}{R}$, определяющей является и комбинация $\frac{R}{Q}$. Представленные зависимости аппроксимируются выражениями

$$\frac{H}{S} = \frac{48,3 \cdot 10^{-6} S^2}{\omega v} + 14 \cdot 10^{-3} \left(\frac{R}{Q} = 25 \right), \quad (20)$$

$$\frac{H}{S} = \frac{33 \cdot 10^{-6} S^2}{\omega v} + 10^{-2} \left(\frac{R}{Q} = 50 \right).$$

Выражения (20) соответствуют экспериментальным данным с точностью $\varepsilon = 4,4 \cdot 10^{-3}$ (при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ и $\sigma_{cp} = 2,07 \cdot 10^{-3}$).

Из рассмотрения графиков на рис. 3 и выражений (20) вытекает, что с повышением скорости вертикальное раскрытие падает асимптоти-

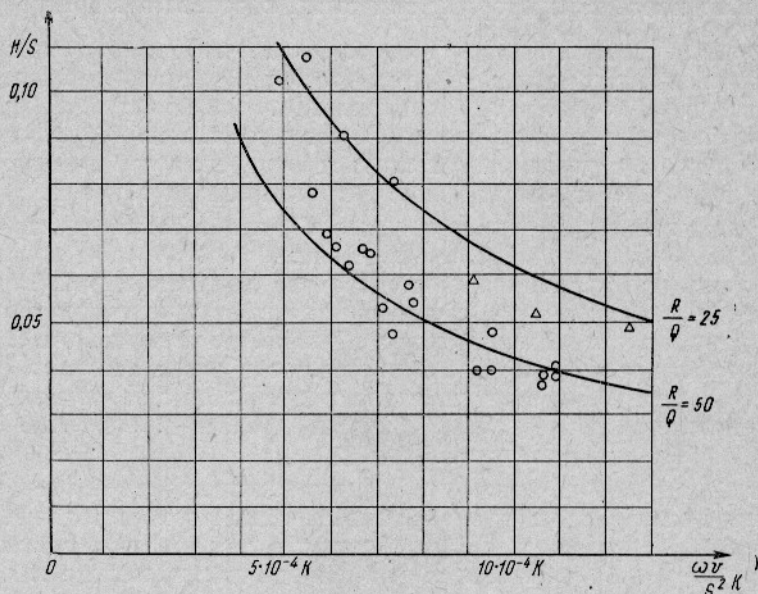


Рис. 3. Зависимость вертикального раскрытия донного трала от величины $\frac{T}{R}$.

чески, приближаясь к некоторому крайнему значению, равному высоте клячевки трала.

Площадь устья трала определяется выражением

$$F = \alpha l H,$$

где α — коэффициент полноты устья.

По данным автора [5], с достаточной для практических целей точностью можно принять, что коэффициент полноты устья трала α не зависит от скорости траления. Тогда при изучении зависимости между площадью устья и скоростью траления можно определить площадь устья как произведение горизонтального и вертикального раскрытий.

В соответствии со сказанным, используя зависимости (19) и (20), площадь устья трала можно представить в безразмерном виде следующими выражениями:

$$\frac{F}{S^2} = \frac{62,7 \cdot 10^{-3} + 18,2 \frac{\omega v}{S^2}}{\sqrt{1 + 9,2 \cdot 10^6 \frac{\omega^2 v^2}{S^4}}} \left(\frac{R}{Q} = 25 \right),$$

$$\frac{F}{S^2} = \frac{43 \cdot 10^{-3} + 13,0 \frac{\omega v}{S^2}}{\sqrt{1 + 9,2 \cdot 10^6 \frac{\omega^2 v^2}{S^4}}} \left(\frac{R}{Q} = 50 \right).$$
(21)

На рис. 4 зависимости (21) представлены в виде графиков, где по оси ординат отложено $\frac{l}{S} \frac{H}{S} = \frac{F}{S^2}$, а по оси абсцисс — комплекс $K \frac{\omega v}{S^2}$. Там же нанесены экспериментальные точки, полученные перемножением экспериментальных значений горизонтального и вертикального раскрытий при соответствующем им значении комплекса $K \frac{\omega v}{S^2}$ (см. табл. 2).

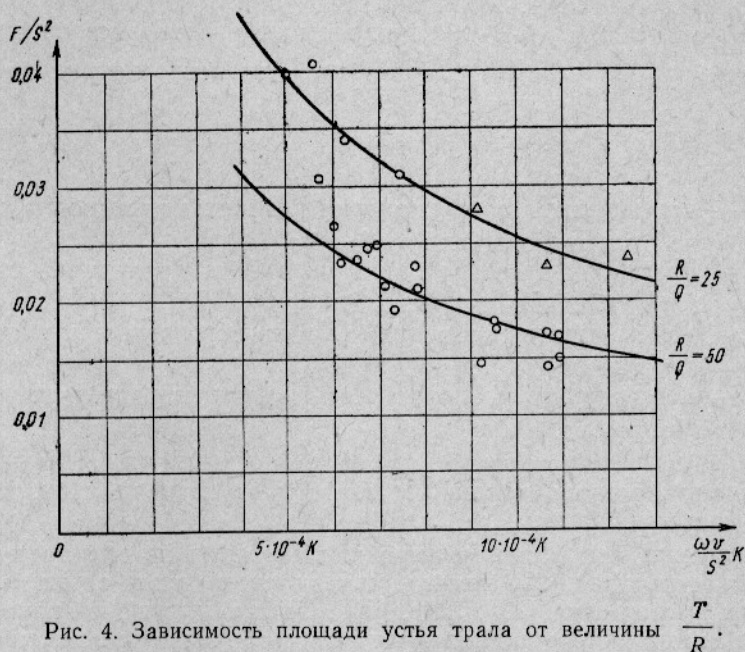


Рис. 4. Зависимость площади устья трала от величины $\frac{T}{R}$.

Проведенная математическая оценка показывает, что выражения (21) соответствуют экспериментальным данным с точностью $\varepsilon = 8 \cdot 10^{-4}$ (при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ и $\sigma_{\text{ср}} = 3,9 \cdot 10^{-4}$).

Таким образом, проведенные исследования позволяют определять без предварительных испытаний горизонтальное раскрытие, вертикальное раскрытие и площадь устья в зависимости от скорости по выражениям (19), (20), (21), которые справедливы для тех тралов, применительно к которым соблюдаются следующие условия:

- 1) отношение $\frac{L}{S} \approx 1$;
- 2) отношение $\frac{T}{R} = K \frac{\omega v}{S^2}$ находится в пределах $(5 \cdot 10^{-4} - 11 \cdot 10^{-4}) K$;
- 3) отношение $\frac{R}{Q}$ находится в пределах 10—60; (22)
- 4) диаметр нитки и скорость траления таковы, что $Re = 1 \cdot 10^3 \div 4,6 \cdot 10^3$;
- 5) тралы оснащены овальными однощелевыми досками Матросова или досками, имеющими аналогичные значения гидродинамического коэффициента распорной силы.

Следует отметить, что в целях определения параметров трала можно пользоваться графиками (см. рис. 2, 3, 4) и в том случае, если два последних условия (22) не соблюдаются. Для этого коэффициент K

безразмерного комплекса (16) должен быть умножен на некоторый поправочный коэффициент, учитывающий отличие значений коэффициента сопротивления сетей и коэффициента распорной силы доски от принятых в условиях (22), в связи с использованием других диаметров ниток, скоростей траления и типов траловых досок. Так, на графиках рисунка 2, 3, 4 нанесены точки (обозначенные Δ), полученные путем указанного выше пересчета экспериментальных данных, испытания модели трала 32/22,5 м, выполненной с полным геометрическим подобием (диаметр ниток 0,4 мм). Испытание модели проводилось в диапазоне чисел Рейнольдса $2 \cdot 10^2 \div 4 \cdot 10^2$, при этом использовались плоские прямоугольные траловые доски, в связи с чем значение комплекса $K \frac{\omega v}{S^2}$

было исправлено коэффициентами $K_1 = \frac{C_x^m}{C_x^n}$ и $K_2 = \frac{C_y^m}{C_y^n}$,

где C_x^m — коэффициент сопротивления гладких цилиндров бесконечного удлинения для $Re = 3 \cdot 10^2$;

C_x^n — коэффициент сопротивления гладких цилиндров бесконечного удлинения для $Re = 10^3 - 4,6 \cdot 10^3$;

C_y^m — коэффициент распорной силы прямоугольных плоских досок с удлинением 0,5;

C_y^n — коэффициент распорной силы овальных однощелевых досок Матросова.

Как видно из графиков на рисунке 2, 3, 4, экспериментальные данные испытания модели хорошо соответствуют зависимостям, полученным для натуральных тралов.

Естественно, что для большого числа тралов из эксплуатируемых на промысле условия (22) не выдерживаются, в связи с чем к ним неприменимы выражения (19), (20), (21). Однако для любой группы тралов экспериментальные данные могут быть обработаны по приведенной методике, что дает возможность получить зависимости, аналогичные приведенным на рисунке 2, 3, 4.

В заключение следует отметить тот факт, что комплексы, стоящие под знаком функции выражений (6) и (7), являются критериями подобия, соблюдение которых обеспечивает подобие формы (значений горизонтального и вертикального раскрытий) для натуре и модели. Как показано выше, определяющим является критерий $\frac{T}{R} = K \frac{\omega v}{S^2}$, представляющий собой критерий Ньютона $\left(Ne \frac{q}{\rho l^2 v^2} \right)$, записанный в несколько иной форме.

Отсюда можно заключить, что, хотя и несколько другим путем, мы пришли к тому же самому выводу, что и А. Л. Фридман [8, 9], который указывает, что при моделировании тралов в определенном диапазоне чисел Рейнольдса и Фруда определяющим критерием является критерий Ньютона. Этот вывод имеет большое значение для практики экспериментальных работ с моделями и проектирования тралов по прототипу на основе теории подобия рыболовных орудий, так как существенно упрощает постановку опытов и значительно расширяет границы применения указанного метода проектирования. На основании проведенных работ можно сделать следующие выводы.

1. Значения параметров донного трала существенно зависят от скорости траления.

2. Для групп тралов, применительно к которым выполняются условия (22), горизонтальное раскрытие при условии работы досок на докритических углах увеличивается при повышении скорости траления и может быть определено из графика (рис. 2), аппроксимируемого выражением

$$\frac{l}{S} = \frac{13,0 \cdot 10^2}{\sqrt{\frac{S^4}{\omega^2 v^2} + 92,0 \cdot 10^5}};$$

вертикальное раскрытие бесщиткового донного трала падает с увеличением скорости траления и определяется из графиков (см. рис. 3), аппроксимируемых выражениями

$$\frac{H}{S} = \frac{48,3 \cdot 10^{-6} S^2}{\omega v} + 14,0 \cdot 10^{-3} \quad \left(\frac{R}{Q} = 25 \right),$$

$$\frac{H}{S} = \frac{33,0 \cdot 10^{-6} S^2}{\omega v} + 1 \cdot 10^{-2} \quad \left(\frac{R}{Q} = 50 \right);$$

площадь устья донного трала уменьшается при повышении скорости траления и определяется из графиков (см. рис. 4), аппроксимируемых выражениями

$$\frac{F}{S^2} = \frac{62,7 \cdot 10^{-3} + 18,2 \frac{\omega v}{S^2}}{\sqrt{1 + 9,2 \cdot 10^6 \frac{\omega^2 v^2}{S^4}}} \quad \left(\frac{R}{Q} = 25 \right),$$

$$\frac{F}{S^2} = \frac{43 \cdot 10^{-3} + 13,0 \frac{\omega v}{S^2}}{\sqrt{1 + 9,2 \cdot 10^6 \frac{\omega^2 v^2}{S^4}}} \quad \left(\frac{R}{Q} = 50 \right).$$

3. Для тралов, применительно к которым условия (22) не выполняются, после обработки экспериментальных данных по приведенной методике могут быть построены зависимости, аналогичные изображенным на рис. 2, 3, 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев Р. З. О зависимости гидродинамических коэффициентов плоских образцов сетей от числа Рейнольдса. «Рыбное хозяйство», 1960, № 7.
2. Алферьев М. Я. Гидромеханика. М., 1961.
3. Баранов Ф. И. Техника промышленного рыболовства. М., Пищепромиздат, 1960.
4. Оболенская Е. Ю. Предварительные результаты исследования сопротивления сетного полотна. Труды КТИ. Вып. XIV, 1962.
5. Розенштейн М. М. Определение коэффициента полноты устья трала. Печатается в настоящем сборнике.
6. Трешев А. И. Исследование нагрузок на стационарные орудия лова. Труды ВНИРО. Т. 30, 1955.
7. Уорсинг А. и Гефнер Д. Методы обработки экспериментальных данных. М., ИЛ, 1953.
8. Фридман А. Л. Условия подбора рыболовных орудий. Труды КТИ. Вып. 18, 1963.
9. Фридман А. Л. Определение условий подбора рыболовных орудий и основные направления дальнейших исследований для обоснования методики моделирования. Труды КТИ. Вып. 17, 1964.
10. Фридман А. Л. Устройство и теория промысловых тралов. Мурманск, 1957.