

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ И ФОРМЫ ТРАЛОВОЙ СЕТИ НА ЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ПОТОКЕ ВОДЫ

Канд. техн. наук А. С. РЕВИН

Начало изучению сопротивления сетей в СССР положил проф. Ф. И. Баранов. Труды проф. Ф. И. Баранова в области сопротивления сетей развили и дополнили Н. Н. Андреев, Н. Т. Сенин, Б. А. Попов, А. И. Трещев и другие.

Однако, несмотря на значительные исследования в области сопротивления сетного полотна потоку воды, выполненные Ф. И. Барановым и другими отечественными и зарубежными исследователями, вопрос о сопротивлении рыболовных сетей требует дальнейшего изучения. Особенно мало изучено сопротивление траловых сетей.

В применяемых в настоящее время формулах для определения сопротивления сетного полотна не учитывается ряд факторов, существенно влияющих на величину сопротивления. Так, в формуле для расчета сопротивления сети, установленной параллельно потоку, до сих пор не учитывается влияние размера ячеи, толщины нити, посадки, а также влияние длины сети на величину ее сопротивления.

Некоторые из перечисленных вопросов затрагивались различными исследователями, однако степень их проработки недостаточна для расчета орудий лова. Подходя к решению этих вопросов, мы их рассматривали как задачи инженерные, а не как задачи теоретической гидродинамики или математической физики.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В связи с трудностями осуществления полного моделирования сетей [2, 9] нами был принят метод исследования сетей в виде отдельных образцов, имеющих ту же структуру, что и натурные орудия лова, но отличающиеся лишь размерами.

Мы задались целью в результате исследования найти количественные характеристики сопротивления образцов, по полученным количественным характеристикам найти функциональную зависимость между различными параметрами или установить корреляционную связь между ними.

Экспериментальная установка состояла из свайной эстакады и деревянного лотка. Свайная эстакада предназначалась, с одной стороны, для крепления лотка, а с другой, для размещения стенда с измерительной аппаратурой<sup>1</sup>. Измерительный стенд устанавливался в верхней части эстакады на расстоянии 1,2 м от поверхности воды в лотке. Передняя часть лотка была открыта и устанавливалась между стойками плотины, задняя имела прямоугольный водослив, высота которого изменялась путем регулирующего разборного щита. Лоток представ-

<sup>1</sup> Подробное описание установки см. в Трудах ВНИРО, т. XXXI, Пищепромиздат, 1955.

лял собой открытый прямоугольный канал, размером  $12 \times 2 \times 2,2$  м. Для обеспечения водонепроницаемости лотка доски при его сборке соединялись в шип. Боковые и днищевые щиты лотка крепились деревянными рамами. Внутренняя часть лотка была хорошо обработана фуганком, прошпаклевана и выкрашена цинковыми белилами.

В передней части лотка на расстоянии 0,5 м одна от другой устанавливались две успокоительные металлические решетки с прямоугольной 50-миллиметровой ячейей. На дне лотка на расстоянии 0,5 м от боковых его сторон крепились две стойки, а на боковых стенках лотка — два металлических кронштейна. К стойкам и кронштейнам крепилось по одному шарикоподшипниковому ролику. Стойки и кронштейны имели хорошо обтекаемую форму и предназначались для передачи нагрузки от сети на динамометры посредством тонких нитей.

Лоток наполнялся водой посредством поднятия шандорного щита плотины, свободно скользящего по пазам стоек. Скорость потока в лотке регулировалась щитом. Максимальная скорость в лотке, при которой возможно было производить опыты, достигала 1 м/сек. При увеличении скорости свыше 1 м/сек уровень воды в лотке и перед лотком падал, и опыты на этих скоростях не производились.

Измерительная аппаратура устанавливалась на стенде. Нагрузки, испытываемые сетью в потоке, измерялись рычажными динамометрами марки ДИН-3 и ДИН-5. Цена деления динамометра зависела от величины сменного груза и равнялась 1, 5 и 10 г. Наличие в станине динамометра указателя уровня и четырех микрометрических винтов позволяло устанавливать динамометр строго в вертикальном положении, а указатель нагрузки на нулевом делении.

Скорость потока в лотке замеряли гидрологической вертушкой речного типа Ж-3.

Опытные образцы сетей изготовлялись из консервированной гравовой пряжи и хлопчатобумажной нити. Было изготовлено 63 сети с различными сочетаниями величин  $\frac{d}{a}$ ,  $\frac{l}{S}$  и  $\frac{u_1}{u_2}$ , изменяемыми в следующих пределах:  $d : a = 0,01 - 0,12$ ;  $L : S = 0,2 - 1$ , через каждую 0,1; при  $u_1 : u_2 = 0,71/0,71$ ;  $0,8/0,6$ ;  $0,5/0,87$ ;  $0,3/0,95$ ;  $0,2/0,98$ . Все сети имели одинаковую высоту, равную 1 м, площадь испытываемых сетей также была одинакова — 1 м<sup>2</sup>, за исключением трех сетей, применявшихся при изучении влияния удлинения; длина этих сетей составляла 2, 4 и 8 м. Сети крепили к металлическим рамкам тонкой хлопчатобумажной ниткой.

Исследование сопротивления сети в лотке производили следующим образом: до начала работ динамометры посредством микрометрических винтов и уровня устанавливали строго в вертикальном положении, а указатель нагрузки — на нулевом делении. Усилие, испытываемое сетью при воздействии потока, передавалось на динамометры нитями, один конец которых крепили к углам рамы опытного образца, второй — в зажимах динамометров. После прикрепления нитей к опытному образцу сеть устанавливали в лоток. Штангу с вертушкой устанавливали перед сетью на расстоянии 1 м. Измерив скорость течения, вертушку из лотка вынимали и отсчитывали величину нагрузки по показателям динамометров. После замера нагрузки вертушку устанавливали в лоток и скорость измеряли вторично.

Если измеренные скорости перед определением нагрузки и после по своей величине совпадали, то опыт считался проведенным правильно. Сопротивление образца сети определяли путем вычитания из общего сопротивления сети с рамкой сопротивления рамок. Результаты замеров нагрузок и скоростей заносили в журнал наблюдений. Экспериментальная установка была сооружена на р. Сестре у г. Клина в шлюзе колхозной электростанции.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Сопротивление рыболовной сети, расположенной перпендикулярно потоку

В настоящее время можно считать достаточно изученным лобовое сопротивление сетей, изготовленных из тонких ниток. Траловые дели почти не исследовались, поэтому мы сочли необходимым провести ряд экспериментов по определению сопротивления траловых сетей. При этом мы пользовались методикой обработки экспериментальных данных, изложенной в ряде работ [1, 5 и 6].

**Изменение сопротивления сети в зависимости от скорости потока и величины отношения  $\frac{d}{a}$ .**

В табл. 1 приведены опытные данные по сопротивлению трех плоских рыболовных сетей, имеющих отношение  $\frac{d}{a} = 0,01; 0,03$  и  $0,12$  и постоянную посадку, равную  $0,71/0,71$ , при изменении скорости течения в диапазоне от  $0,2$  до  $1,0$  м/сек. Эти же данные изображены в виде графика (рис. 1). Обработка полученных данных методом логарифмирования [6] приводит к следующей формуле, характеризующей изменение сопротивления сети в зависимости от скорости ее движения:

$$R = 186 \frac{d}{a} Fv^{1,89}. \quad (1)$$

Таблица 1

$\frac{d}{a}$	Среднее сопротивление сети в кг при скорости $v$ в м/сек						
	1,0	0,91	0,85	0,65	0,53	0,26	0,20
0,01	1,895	1,567	1,348	0,807	0,546	0,137	0,087
0,02	3,814	3,124	2,682	1,593	1,047	0,279	0,168
0,03	5,387	4,516	3,933	2,387	1,596	0,415	0,262
0,04	7,716	6,271	5,328	3,176	2,074	0,563	0,341
0,06	9,417	7,812	6,641	4,081	2,718	0,678	0,418
0,06	10,754	9,216	7,846	4,751	3,263	0,835	0,503
0,08	15,344	12,485	10,582	6,397	4,138	1,144	0,692
0,12	22,614	18,597	16,503	9,554	6,578	1,673	0,995

**Влияние посадки сети на ее сопротивление.** До сих пор мы рассматривали сопротивление плоской рыболовной сети, посаженной на квадрат, т. е. такой сети, у которой посадочные коэффициенты по вертикали и горизонтали равны между собой. При увеличении густоты посадки сети количество нитей, приходящихся на одну и ту же площадь сети, увеличивается, а следовательно, должно увеличиваться и сопротивление сети при движении ее в воде.

На графике (рис. 2), по данным табл. 2, показана зависимость сопротивления от посадки для трех сетей с отношением  $\frac{d}{a} = 0,01; 0,03$  и  $0,12$  при  $v = 0,65$  м/сек.

По оси абсцисс для удобства посадочные коэффициенты даны в виде произведения. Наименьшее сопротивление, как и следовало ожидать, приходится на сеть при  $u_1 : u_2 = 1$ , что соответствует посадке на квадрат. Очевидно, отношение сопротивления сети при любой другой посадке  $R$  к сопротивлению сети с посадкой на квадрат  $R_1$  будет характеризовать изменение сопротивления сети в зависимости от величины посадки.

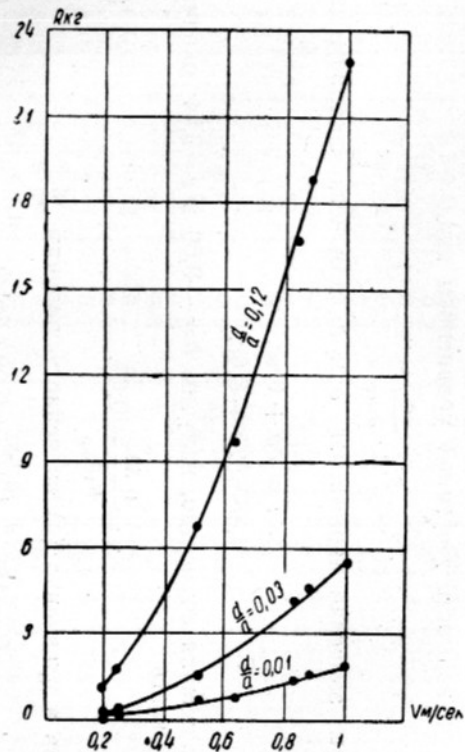


Рис. 1. Изменение сопротивления сети в зависимости от скорости ее движения при угле встречи с потоком  $\alpha=90^\circ$

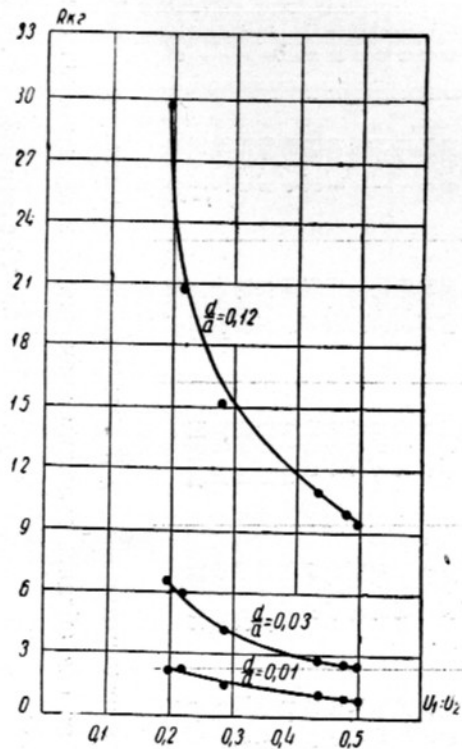


Рис. 2. Изменение сопротивления сети, расположенной перпендикулярно к потоку, в зависимости от посадки

Таблица 2

$\frac{d}{a}$	$\frac{u_1}{u_2}$	Среднее сопротивление сети в кг при скорости $v$ в м/сек				
		1,0	0,85	0,65	0,53	0,2
0,01	0,8/0,6	1,961	1,408	0,841	0,561	0,093
0,01	0,71/0,71	1,895	1,348	0,807	0,546	0,087
0,01	0,5/0,87	2,158	1,532	0,926	0,621	0,102
0,01	0,3/0,95	3,261	2,164	1,412	0,954	0,154
0,01	0,2/0,98	5,207	3,435	2,208	1,531	0,242
0,03	0,8/0,6	5,552	3,951	2,479	1,651	0,271
0,03	0,71/0,71	5,387	3,823	2,387	1,596	0,262
0,03	0,5/0,87	6,131	4,394	2,715	1,821	0,308
0,03	0,3/0,95	9,386	6,649	4,102	2,761	0,453
0,03	0,2/0,98	14,614	10,451	6,449	4,358	0,721
0,12	0,8/0,6	23,412	15,617	9,871	6,789	1,095
0,12	0,71/0,71	22,614	14,973	9,554	6,578	1,055
0,12	0,5/0,87	25,789	16,897	10,906	7,448	1,208
0,12	0,3/0,95	38,851	25,916	16,631	11,412	1,847
0,12	0,2/0,98	—	—	29,872	20,316	2,938

Обозначая отношение  $\frac{R}{R_1} = \chi$  и пользуясь табл. 3, построим график (рис. 3), где по оси абсцисс отложим значения  $u_1$  и  $u_2$ , а по оси ординат значения  $\chi$ .

Таблица 3

$R$	$R_1$	$\frac{R}{R_1}$	$\frac{1}{u_1 u_2}$
5,552	5,387	1,03	2,1
5,387	5,387	1,00	2,0
6,131	5,387	1,14	2,3
9,387	5,387	1,74	3,5
14,614	5,387	2,71	5,1

Выразим зависимость  $\chi = f(u_1 u_2)$  уравнением вида

$$\chi = b + \frac{c}{u_1 u_2}. \quad (2)$$

Определим значение параметров  $b$  и  $c$ , для чего составим два уравнения

$$3,17 = 3b + 6,4c,$$

$$4,45 = 2b + 8,6c.$$

Решая уравнения совместно, получим  $b = -0,09$  и  $c = 0,54$ ; окончательно будем иметь

$$\chi = \frac{0,54}{u_1 u_2} - 0,09. \quad (3)$$

Подставив в уравнение (1) значение  $\chi$ , получим

$$R = 186 \frac{d}{a} \left( \frac{0,54}{u_1 u_2} - 0,09 \right) Fv^{1,89}, \quad (4)$$

или приближенно

$$R = 186 \frac{d}{a} \cdot \frac{0,54}{u_1 u_2} Fv^{1,89}. \quad (5)$$

Формула (5) характеризует сопротивление плоской рыболовной сети с учетом рассмотренных нами основных ее параметров.

Таблица 4

$\frac{d}{a}$	$\frac{u_1}{u_2}$	$\frac{L}{S}$	Среднее сопротивление сети в кг при скорости $v$ в м/сек				
			1,0	0,85	0,65	0,53	0,20
0,01	0,85/0,53	0,9	2,042	1,344	0,863	0,585	0,094
0,01	0,8/0,6	0,9	1,678	1,108	0,723	0,486	0,079
0,01	0,71/0,71	0,9	1,621	1,072	0,684	0,471	0,075
0,01	0,5/0,87	0,9	1,836	1,221	0,781	0,536	0,088
0,01	0,2/0,98	0,9	4,451	2,865	1,882	1,294	0,208
0,01	0,65/0,53	0,8	1,881	1,275	0,809	0,543	0,089
0,01	0,8/0,5	0,8	1,572	1,026	0,684	0,448	0,076
0,01	0,71/0,71	0,8	1,531	1,011	0,655	0,437	0,071
0,01	0,5/0,87	0,8	1,721	1,158	0,751	0,506	0,083
0,01	0,2/0,98	0,8	4,187	2,812	1,791	1,251	0,198
0,01	0,85/0,53	0,7	1,672	1,162	0,736	0,493	0,077
0,01	0,8/0,6	0,7	1,412	0,904	0,621	0,406	0,067
0,01	0,71/0,71	0,7	1,356	0,921	0,583	0,398	0,062
0,01	0,5/0,87	0,7	1,583	1,061	0,684	0,445	0,074
0,01	0,2/0,98	0,7	3,721	2,496	1,631	1,098	0,178
0,01	0,85/0,53	0,6	1,585	1,081	0,708	0,474	0,076
0,01	0,8/0,6	0,6	1,381	0,896	0,595	0,388	0,066
0,01	0,71/0,71	0,6	1,198	0,873	0,571	0,378	0,061
0,01	0,5/0,87	0,6	1,479	0,997	0,648	0,426	0,072
0,01	0,2/0,98	0,6	3,708	2,386	1,535	1,066	0,167
0,01	0,85/0,53	0,5	1,746	1,163	0,775	0,506	0,085
0,01	0,8/0,6	0,5	1,449	0,974	0,623	0,416	0,069
0,01	0,71/0,71	0,5	1,426	0,921	0,612	0,404	0,064
0,01	0,5/0,87	0,5	1,645	1,087	0,681	0,471	0,076
0,01	0,2/0,98	0,5	3,956	2,551	1,649	1,126	0,117
0,01	0,85/0,53	0,4	1,251	1,291	0,862	0,575	0,093
0,01	0,8/0,6	0,4	1,679	1,081	0,731	0,472	0,081
0,01	0,71/0,71	0,4	1,581	1,034	0,697	0,465	0,074
0,01	0,5/0,87	0,4	1,786	1,254	0,773	0,544	0,087
0,01	0,2/0,98	0,4	4,281	2,881	1,768	1,282	0,206
0,01	0,85/0,53	0,3	3,282	1,496	0,987	0,649	0,166
0,01	0,8/0,6	0,3	1,936	1,251	0,812	0,556	0,091
0,01	0,71/0,71	0,3	1,841	1,231	0,784	0,527	0,085
0,01	0,5/0,87	0,3	2,104	1,421	0,905	0,708	0,099
0,01	0,2/0,98	0,3	5,089	3,361	2,121	1,471	0,236
0,01	0,85/0,53	0,2	2,645	1,794	1,181	0,775	0,125
0,01	0,8/0,6	0,2	2,279	1,456	0,972	0,663	0,108
0,01	0,71/0,71	0,2	2,163	1,461	0,954	0,627	0,101
0,01	0,5/0,87	0,2	2,516	1,684	1,078	0,716	0,119
0,01	0,2/0,98	0,2	6,102	4,068	2,515	1,774	0,278
0,03	0,85/0,53	0,9	5,712	4,108	2,792	1,715	0,274
0,03	0,8/0,6	0,9	4,704	3,354	2,116	1,436	0,232
0,03	0,71/0,71	0,9	4,596	3,301	2,021	1,362	0,224
0,03	0,5/0,87	0,9	5,252	3,774	2,318	1,561	0,264
0,03	0,2/0,98	0,9	12,481	9,087	5,508	3,695	0,622
0,03	0,85/0,53	0,8	5,353	3,842	2,375	1,612	0,257
0,03	0,8/0,6	0,8	4,403	3,235	1,946	1,338	0,216
0,03	0,71/0,71	0,8	4,304	3,121	1,897	1,285	0,208
0,03	0,5/0,87	0,8	4,985	3,605	2,211	1,491	0,251
0,03	0,2/0,98	0,8	11,876	8,507	5,153	3,581	0,582
0,03	0,85/0,53	0,7	4,849	3,482	2,205	1,434	0,235
0,03	0,8/0,6	0,7	4,063	2,841	1,781	1,195	0,196
0,03	0,71/0,71	0,7	3,912	2,763	1,745	1,156	0,188
0,03	0,5/0,87	0,7	4,425	3,175	1,952	1,324	0,223
0,03	0,2/0,98	0,7	10,521	7,651	4,649	3,166	0,536
0,03	0,8/0,53	0,6	4,612	3,297	2,084	1,363	0,228
0,03	0,8/0,6	0,6	3,911	2,706	1,694	1,167	0,189
0,03	0,71/0,71	0,6	3,783	2,606	1,653	1,102	0,182
0,03	0,5/0,87	0,6	4,245	3,027	1,875	1,291	0,216
0,03	0,2/0,98	0,6	10,064	7,256	4,551	3,082	0,512
0,03	0,85/0,53	0,5	4,495	3,411	2,184	1,497	0,244
0,03	0,8/0,6	0,5	4,146	2,921	1,835	1,241	0,208
0,03	0,71/0,71	0,5	3,967	2,844	1,773	1,197	0,194
0,03	0,5/0,87	0,5	4,554	3,261	2,045	1,371	0,224

$\frac{d}{a}$	$\frac{u_1}{u_2}$	$\frac{L}{S}$	Среднее сопротивление сети в кг при скорости $v$ в м/сек				
			1.0	0.85	0.65	0.53	0.20
0,03	0,2/0,98	0,5	10,876	7,152	4,596	3,302	0,531
0,03	0,85/0,53	0,4	5,768	4,076	2,451	1,714	0,282
0,03	0,8/0,6	0,4	4,714	3,312	2,106	1,414	0,228
0,03	0,71/0,71	0,4	4,554	3,224	1,996	1,311	0,226
0,03	0,5/0,87	0,4	5,264	3,687	2,312	1,571	0,257
0,03	0,2/0,98	0,4	12,584	9,046	5,431	3,708	0,612
0,03	0,85/0,53	0,3	6,349	4,764	2,851	1,838	0,212
0,03	0,9/0,6	0,3	5,366	3,807	2,402	1,633	0,164
0,03	0,71/0,71	0,3	5,176	3,779	2,344	1,549	0,254
0,03	0,5/0,87	0,3	5,978	4,243	2,612	1,754	0,294
0,03	0,2/0,98	0,3	14,197	10,251	6,245	4,315	0,705
0,03	0,85/0,53	0,2	7,814	5,671	3,465	2,363	0,312
0,03	0,8/0,6	0,2	6,451	4,549	2,841	1,916	0,314
0,03	0,71/0,71	0,2	6,172	4,526	2,752	1,849	0,307
0,03	0,5/0,87	0,2	7,253	5,167	3,143	2,122	0,362
0,03	0,2/0,98	0,2	16,744	12,361	7,654	5,086	0,846
0,12	0,85/0,53	0,9	—	15,979	10,296	7,311	1,138
0,12	0,8/0,6	0,9	19,561	13,512	8,345	5,846	0,944
0,12	0,71/0,71	0,9	18,756	12,897	8,158	5,651	0,906
0,12	0,5/0,87	0,9	22,187	14,634	9,354	6,256	1,081
0,12	0,2/0,98	0,9	—	—	24,789	17,212	2,481
0,12	0,85/0,53	0,8	23,103	14,967	9,718	6,495	1,068
0,12	0,8/0,6	0,8	19,357	12,537	7,712	5,419	0,885
0,12	0,71/0,71	0,8	18,153	12,121	7,652	5,247	0,846
0,12	0,5/0,87	0,8	20,986	13,614	8,926	6,089	0,973
0,12	0,2/0,98	0,8	—	—	23,812	16,121	2,342
0,12	0,85/0,53	0,7	20,319	13,427	8,613	5,861	0,967
0,12	0,8/0,6	0,7	16,912	11,313	7,132	4,894	0,796
0,12	0,71/0,71	0,7	16,327	10,808	6,903	4,755	0,764
0,12	0,5/0,87	0,7	18,713	12,121	7,938	5,408	0,873
0,12	0,2/0,98	0,7	—	—	21,614	14,635	2,109
0,12	0,85/0,53	0,6	19,392	12,511	8,208	5,612	0,906
0,12	0,8/0,6	0,6	16,486	10,823	6,849	4,731	0,766
0,12	0,71/0,71	0,6	15,785	10,354	6,633	4,542	0,735
0,12	0,5/0,87	0,6	17,776	11,645	7,554	5,152	0,842
0,12	0,2/0,98	0,6	—	—	20,646	14,087	2,044
0,12	0,85/0,53	0,5	20,612	14,865	8,749	6,044	0,966
0,12	0,8/0,6	0,5	17,405	11,676	7,318	5,054	0,816
0,12	0,71/0,71	0,5	16,807	11,187	7,116	4,868	0,787
0,12	0,5/0,87	0,5	19,344	12,612	8,167	5,551	0,898
0,12	0,2/0,98	0,5	—	—	22,453	15,108	2,206
0,12	0,85/0,53	0,4	23,361	15,885	9,993	6,924	1,103
0,12	0,8/0,6	0,4	19,792	13,186	8,224	5,748	0,931
0,12	0,71/0,71	0,4	19,089	12,634	8,056	5,489	0,895
0,12	0,5/0,87	0,4	22,023	14,187	9,161	6,261	1,024
0,12	0,2/0,98	0,4	—	—	24,614	17,412	2,463
0,12	0,85/0,53	0,3	27,123	17,615	11,726	7,421	1,304
0,12	0,8/0,6	0,3	22,845	15,377	9,581	6,545	1,071
0,12	0,71/0,71	0,3	22,034	14,416	9,303	6,405	1,036
0,12	0,5/0,87	0,3	25,114	16,451	10,712	7,151	1,181
0,12	0,2/0,98	0,3	—	—	28,318	19,706	2,879
0,12	0,85/0,53	0,2	32,212	31,037	13,605	9,751	1,506
0,12	0,8/0,6	0,2	27,865	16,089	11,698	7,826	1,281
0,12	0,71/0,71	0,2	26,411	17,296	11,089	7,712	1,224
0,12	0,5/0,87	0,2	29,814	19,513	12,718	8,649	1,403
0,12	0,2/0,98	0,2	—	—	34,614	23,718	3,421

Приведа (для удобства пользования формулой при расчетах) показатель степени при скорости к квадрату, получим сопротивление плоской сети, изготовленной из тралового прядена

$$R = 198 \frac{d}{a} \cdot \frac{F}{u_1 u_2} v^2. \quad (6)$$

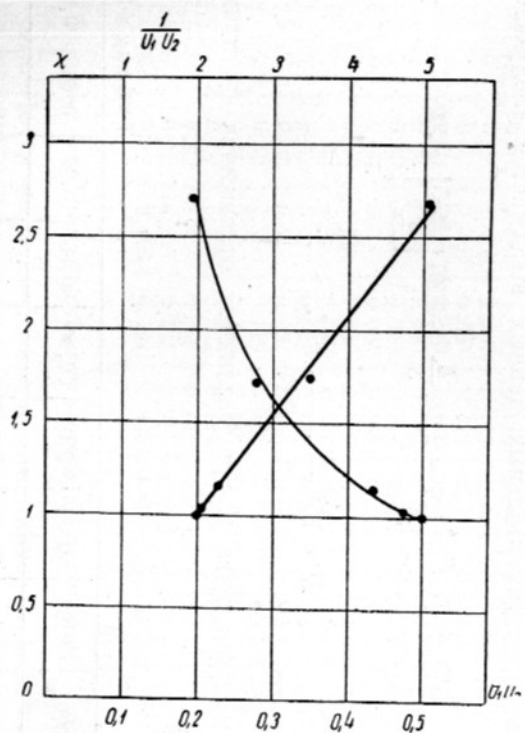


Рис. 3. Вспомогательный график к определению коэффициента  $\chi$ , учитывающего изменение сопротивления сети от посадки

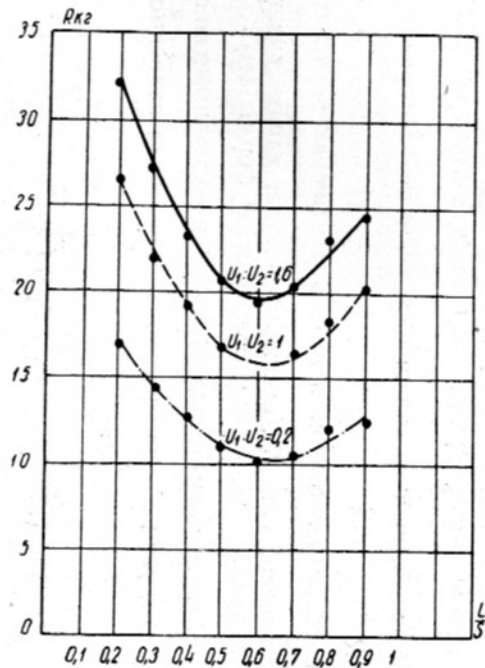


Рис. 4. Изменение сопротивления сети в зависимости от величины запаса высоты ее



**Влияние запаса высоты сети  $\frac{L}{S}$  на ее сопротивление.** Поскольку этот вопрос является важным для проектирования орудий лова, нами были поставлены опыты по исследованию сопротивления сетей в зависимости от их формы в потоке воды.

Результаты опытов по выяснению зависимости сопротивления сети при изменении отношения  $\frac{L}{S}$  приведены в табл. 4 и на графике (рис. 4).

По оси абсцисс отложены отношения  $\frac{L}{S}$ , а по оси ординат сопротивление сети  $R$ .

Отношение сопротивления сети  $R$  при различных значениях  $\frac{L}{S}$  к сопротивлению плоской сети  $R_1$ , очевидно, и будет характеризовать изменение сопротивления сети в зависимости от ее формы ( $\Theta$ ).

Для сетей с различными отношениями  $\frac{d}{a}$  и различными посадками нами получена следующая осредненная эмпирическая зависимость между  $\Theta$  и  $\frac{L}{S}$ :

$$\Theta = 1,6 - 2,96 \frac{L}{S} + 2,36 \left( \frac{L}{S} \right)^2. \quad (7)$$

Из полученной зависимости следует, что сопротивление сети с уменьшением отношения  $\frac{L}{S}$  резко падает, достигая минимума при  $\frac{L}{S} = 0,6$ , затем вновь возрастает и при  $\frac{L}{S}$  несколько менее 0,4 становится равным сопротивлению плоской сети, и лишь только при дальнейшем уменьшения  $\frac{L}{S}$  оно превышает сопротивление плоской сети.

Сопротивление траловой сети, установленной перпендикулярно потоку, на основе экспериментальных данных выражается следующей формулой:

$$R = 108 \frac{d}{a} \cdot \frac{F}{u_1 u_2} \left[ 1,6 - 2,96 \frac{L}{S} + 2,36 \left( \frac{L}{S} \right)^2 \right] v^2, \quad (8)$$

или

$$R = 108 \frac{d}{a} \cdot \frac{\Theta}{u_1 u_2} F v^2. \quad (9)$$

Значения коэффициента  $\Theta$  при различных отношениях  $\frac{L}{S}$  приведены в табл. 5.

Таблица 5

$\frac{L}{S}$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
1	1,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,9	0,85	0,87	0,88	0,89	0,91	0,92	0,94	0,96	0,97	0,99
0,8	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,81	0,82	0,83
0,7	0,68	0,69	0,70	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,72	0,73
0,6	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
0,5	0,71	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68

## Сопротивление рыболовной сети, расположенной параллельно потоку

Сопротивление рыболовной сети, расположенной параллельно потоку, в общем виде выражается формулой

$$R_0 = k \frac{d}{\Delta} \Theta \chi \lambda F v^n, \quad (10)$$

где  $\lambda$  — коэффициент, учитывающий изменение сопротивления сети при изменении ее длины.

Найдем влияние каждого из приведенных в формуле параметров на сопротивление сети.

### Изменение сопротивления сети в зависимости от скорости потока.

Для определения зависимости сопротивления сети, расположенной параллельно потоку, от его скорости построим по данным табл. 6 для сети с  $\frac{d}{a} = 0,01$  график (рис. 5). Этот график удовлетворяет формуле

$$R = 1,43 F v^{1,96}. \quad (11)$$

Формула (11) характеризует изменение сопротивления сети в зависимости от скорости ее движения, но не учитывает влияние отношения диаметра нитки к шагу ячеи, а также посадку сети. Эта формула справедлива лишь для сети с  $\frac{d}{a} = 0,01$  и посадкой на квадрат в пределах скоростей потока, указанных в табл. 6.

Таблица 6

$u_1/u_2$	$\frac{d}{a}$	$u_1 : u_2$	Среднее сопротивление сети в кг при скорости $v$ в м/сек						$\Theta$ ср.
			0,20	0,28	0,53	0,61	0,91	1,00	
0,98/0,2	0,01	4,900	0,066	0,129	0,484	0,649	1,231	1,634	1,089
0,9/0,44	0,01	2,040	0,059	0,116	0,421	0,557	1,085	1,461	0,977
0,8/0,6	0,01	1,334	0,057	0,112	0,416	0,558	1,056	1,431	0,956
0,7/0,7	0,01	1,000	0,061	0,118	0,442	0,581	1,128	1,456	1,000
0,5/0,87	0,01	0,577	0,065	0,127	0,475	0,626	1,220	1,612	1,078
0,2/0,98	0,01	0,204	0,073	0,143	0,536	0,704	1,378	1,794	1,198
0,98/0,2	0,03	4,900	0,077	0,149	0,558	0,781	1,421	1,927	1,096
0,9/0,44	0,03	2,040	0,064	0,132	0,494	0,692	1,239	1,712	0,979
0,8/0,6	0,03	1,334	0,066	0,129	0,476	0,671	1,216	1,661	0,951
0,7/0,7	0,03	1,000	0,070	0,137	0,507	0,714	1,281	1,759	1,000
0,5/0,87	0,03	0,577	0,075	0,145	0,551	0,774	1,381	1,879	1,074
0,2/0,98	0,03	0,204	0,083	0,106	0,007	0,862	1,689	2,121	1,211
0,98/0,2	0,12	4,900	0,119	0,214	0,818	1,065	2,048	2,718	1,108
0,9/0,44	0,12	2,040	0,105	0,185	0,716	0,921	1,811	2,345	0,961
0,8/0,6	0,12	1,334	0,102	0,182	0,688	0,908	1,791	2,291	0,936
0,7/0,7	0,12	1,000	0,108	0,193	0,734	0,939	1,882	2,445	1,000
0,5/0,87	0,12	0,577	0,115	0,211	0,789	1,039	2,007	2,696	1,096
0,2/0,98	0,12	0,204	0,132	0,232	0,905	1,183	2,268	2,987	1,221

**Влияние отношения диаметра нити к шагу ячеи  $\frac{d}{a}$  на сопротивление сети.** Почти все исследователи, занимавшиеся изучением сопротивления сети при движении ее параллельно своей плоскости, пришли к выводу, что сопротивление сети не зависит от отношения диаметра нити к шагу ячеи, и лишь Б. А. Попов [4] и Н. Н. Виноградов [3] указывают, что на сопротивление сети существенное влияние оказывает как размер ячеи, так и толщина нити. Однако аналитической зависимости влияния отношения диаметра нити к шагу ячеи на сопротивление сети ими не приводится.

Учитывая необходимость и важность выяснения этой зависимости, мы поставили ряд опытов с сетями, имеющими отношения  $\frac{d}{a}$  от 0,01 до 0,12, что охватывает все отношения, применяемые в промышленном рыболовстве, и даже выходит за их пределы. В табл. 7 дается характеристика сетей и указано их сопротивление при посадке на квадрат.

Таблица 7

$\frac{d}{a}$	Среднее сопротивление сети в кг при скорости $v$ в м,сек						$\Delta$
	0,20	0,28	0,53	0,61	0,91	1,0	
0,01	0,061	0,118	0,442	0,581	1,128	1,496	1,00
0,02	0,065	0,123	0,470	0,615	1,202	1,578	1,05
0,03	0,070	0,135	0,507	0,602	1,271	1,695	1,13
0,04	0,074	0,142	0,521	0,704	1,347	1,785	1,19
0,05	0,075	0,147	0,549	0,743	1,422	1,856	1,24
0,06	0,080	0,157	0,576	0,751	1,468	1,951	1,30
0,08	0,088	0,168	0,632	0,822	1,627	2,157	1,43
0,12	0,098	0,193	0,714	0,946	1,832	2,445	1,62

Из табл. 7 видно, что сопротивление сети не остается постоянной величиной, а возрастает пропорционально отношению диаметра нити к шагу ячее, увеличиваясь с увеличением этого отношения. С уменьшением величины ячее при одном и том же диаметре нити сопротивление сети растет за счет увеличения действительной площади трения и изменения условий обтекания сети. В этом, по нашему мнению, заключается основная причина увеличения сопротивления сети.

Результаты наших исследований указывают, с одной стороны, на ошибочность вывода Н. Т. Сенина и Таути о независимости сопротивления сети от величины отношения  $\frac{d}{a}$ , а с другой, на неправильные выводы Н. Н. Виноградова о том, что сопротивление сети уменьшается с уменьшением размера ячее.

Согласно полученным опытными данным, при увеличении отношения  $\frac{d}{a}$  с 0,01 до 0,03 сопротивление сети увеличивается на 10%, а при увеличении  $\frac{d}{a}$  с 0,01 до 0,12 — более чем на 60%. Таким образом, формула для определения нагрузок, испытываемых сетью при движении параллельно своей плоскости, должна включать в себя, кроме уже рассмотренных параметров, также и отношение диаметра нити к шагу ячее.

Пользуясь экспериментальными данными, найдем коэффициент  $\Delta$ , характеризующий изменение сопротивления сети в зависимости от  $\frac{d}{a}$ .

Вычисления показывают, что величина коэффициента не зависит от посадки сети и скорости ее движения.

На графике (рис. 6) приведены изменения коэффициента  $\Delta$  в зависимости от  $\frac{d}{a}$ . Эта зависимость изображается прямой линией

$$\Delta = 0,97 + 4,88 \frac{d}{a}. \quad (12)$$

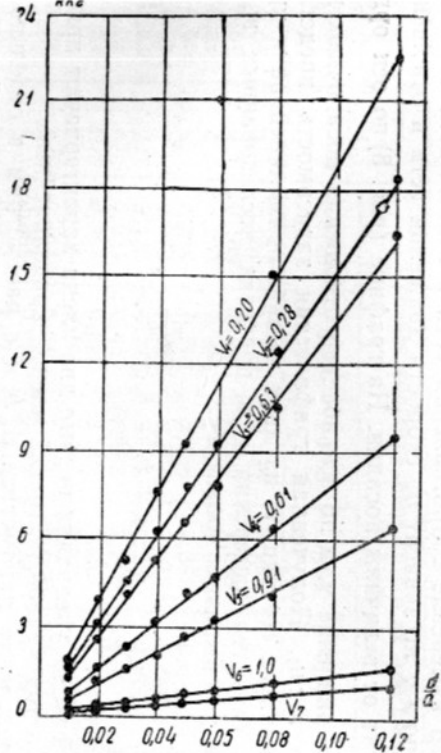


Рис. 5. Изменение сопротивления сети в зависимости от  $\frac{d}{a}$  при разной скорости движения и  $\alpha=0^\circ$

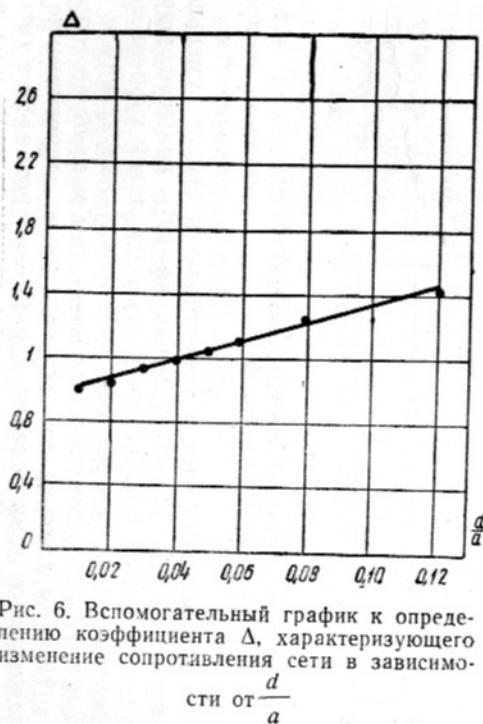


Рис. 6. Вспомогательный график к определению коэффициента  $\Delta$ , характеризующего изменение сопротивления сети в зависимости от  $\frac{d}{a}$

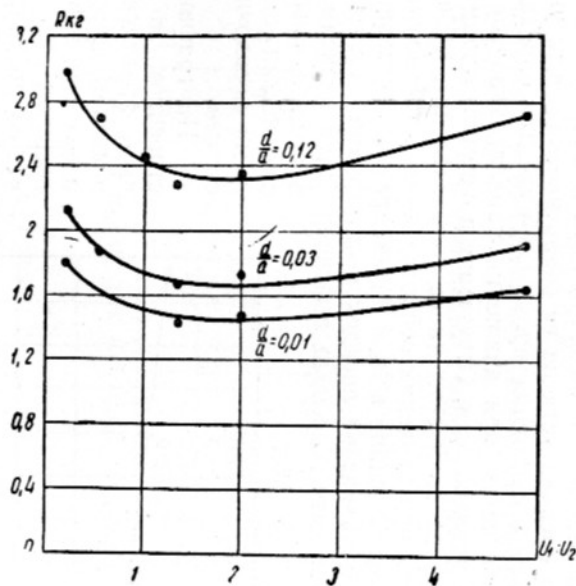


Рис. 7. Изменение сопротивления сети, расположенной параллельно потоку, в зависимости от посадки

Формула (12) характеризует изменение сопротивления сети в зависимости от отношения диаметра нити к шагу ячеи.

**Влияние посадки сети на ее сопротивление.** Как уже указывалось, в применяемой в настоящее время формуле для определения нагрузок, испытываемых сетью при движении параллельно своей плоскости, не учитывается посадка сети. Отсутствие в формуле параметра, учитывающего влияние посадки сети на ее сопротивление, объясняется прежде всего тем, что при изучении сопротивления сетей почти все исследователи применяли посадки в  $1/3$  и на квадрат. Естественно, при таком незначительном диапазоне посадок было трудно уловить их влияние на сопротивление сети. С целью выяснения этой зависимости нами были

проведены опыты с сетями, посаженными с шестью различными посадочными коэффициентами.

На графике (рис. 7), построенном по опытным данным, приведенным в табл. 8, показано изменение сопротивления сети в зависимости от ее посадки. Из графика видно, что сопротивление сети при изменении посадки является величиной переменной. При изменении посадки  $u_1 : u_2$  от 4,9 до 1,8 сопротивление сети медленно уменьшается, затем начинает увеличиваться и достигает своего максимума, когда сеть принимает форму почти сплошной пластинки. Таким образом, сопротивление сети уменьшается с увеличением

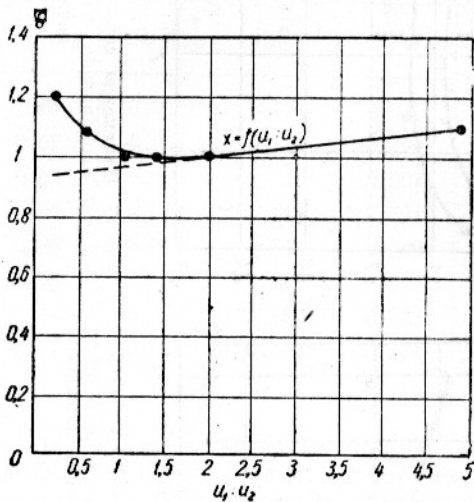


Рис. 8. Вспомогательный график к определению коэффициента  $\Theta$

угла при вершине ячеи и увеличивается при его уменьшении. Так, сеть с посадкой 0,2/0,98 имеет почти на 10% большее сопротивление, чем сеть с посадкой 0,98/0,2, хотя площадь нитей у обеих сетей одинакова. Следовательно, чем меньше угол между направлением движения потока и нитями, составляющими ячею, тем меньше ее сопротивление.

Найдем влияние посадки сети на ее сопротивление в пределах исследованных нами величин. Примем сопротивление сети с посадкой на квадрат ( $u_1 : u_2 = 1$ ) за единицу и найдем величины коэффициента  $\chi$ , учитывающего изменение сопротивления сети в зависимости от ее посадки. Величина  $\chi$  не зависит от скорости движения сети и отношения  $\frac{d}{a}$ , но зависит от величины посадки. На графике (рис. 8) по оси ординат отложено значение  $\chi$ , а по оси абсцисс отношения посадочных коэффициентов  $u_1 : u_2$ . Полученная графическая зависимость представляет собой кривую, состоящую из двух частей: прямолинейной и криволинейной. Характер изменения  $\chi$  в пределах исследованных нами отношений  $u_1 : u_2$  выразим уравнением

$$\chi = a + b \frac{u_1}{u_2} + c e^{\frac{d}{a} \frac{u_1}{u_2}} \quad (13)$$

В правой части уравнения первые два члена характеризуют прямолинейный участок кривой, а третий член — криволинейный.

Для определения параметров  $a$ ,  $b$  и  $c$  рассмотрим в отдельности прямолинейный и криволинейный участки экспериментальной кривой.

Выразим прямолинейную часть графика уравнением

$$\chi_1 = a + b \frac{u_1}{u_2}$$

и найдем параметры  $a$  и  $b$ . Пользуясь экспериментальными данными, получим  $a=0,9$  и  $b=0,04$ .

Значения  $\chi_1$  и разность координат  $r = \chi - \chi_1$  приведены в табл. 8.

Таблица 8

$u_1 : u_2$	$\chi$	$\chi_1$	$r = \chi - \chi_1$	$\lg r$
4,900	1,089	1,085	0,004	—
2,040	0,977	0,976	0,001	—
1,334	0,956	0,936	0,020	-1,69857
1,000	1,000	0,96	0,034	-1,19382
0,578	1,078	0,909	0,169	-0,77211
0,204	1,198	0,905	0,293	-0,53313

Зависимость между  $r$  и  $u_1 : u_2$  для  $u_1 : u_2 < 2$  представим в виде показательной функции

$$r = ce^{\frac{d u_1}{u_2}} \quad (14)$$

Логарифмируя уравнение (14), получим

$$\lg r = \lg c + (Md) \frac{u_1}{u_2}$$

Подставив в уравнение вместо  $r$  и  $u_1 : u_2$  их табличные значения, получим

$$Md = -1,02; \quad d = -2,4 \quad \text{и} \quad c = 0,55.$$

Итак,  $r = 0,55e^{-2,4 \frac{u_1}{u_2}}$ ; окончательно имеем

$$\chi = 0,9 + 0,04 \frac{u_1}{u_2} + 0,55e^{-2,4 \frac{u_1}{u_2}} \quad (15)$$

**Влияние длины сети на ее сопротивление.** При обтекании сети жидкостью происходит явление, аналогичное обтеканию пластинки, установленной параллельно потоку, где трение происходит в пограничном слое жидкости, причем величина коэффициента трения зависит как от структуры, так и от длины сети. Рассмотрим влияние длины сети на ее сопротивление, исходя из опытных данных, приведенных в табл. 9.

Таблица 9

$\frac{d}{a}$	$l$	Среднее сопротивление сети в кг при скорости $v$ в м/сек						$\lambda$
		0,20	0,28	0,53	0,61	0,91	1,00	
0,01	1	0,061	0,118	0,442	0,581	1,128	1,498	1,000
0,01	2	0,108	0,212	0,800	1,038	2,059	2,686	0,895
0,01	4	0,203	0,386	1,469	1,908	3,778	4,849	0,808
0,01	8	0,356	0,797	2,658	3,381	6,603	9,147	0,761
0,03	1	0,070	0,137	0,507	0,672	1,281	1,750	1,000
0,03	2	0,126	0,245	0,919	1,228	2,312	3,162	0,904
0,03	4	0,233	0,457	0,663	2,212	4,261	5,721	0,813
0,03	8	0,417	0,823	2,986	3,963	7,784	20,506	0,754
0,12	1	0,108	0,193	0,794	0,959	1,882	2,445	1,000
0,12	2	0,194	0,345	1,314	1,708	3,382	4,387	0,893
0,12	4	0,361	0,631	2,412	3,205	6,298	8,052	0,812
0,12	8	0,652	1,172	4,449	5,715	11,456	14,423	0,764

Сопrotивление сети, как видно из данных табл. 9, с увеличением ее длины вдвое возрастает не в два раза, а несколько меньше. Таким образом, между сопротивлением сети и ее длиной нет прямо пропорциональной зависимости, как указывает Н. Т. Сенин [5].

Пользуясь нашим методом, найдем коэффициент  $\lambda$ , который характеризовал бы изменение сопротивления сети в зависимости от ее длины. Принимая  $\lambda=1$  для сети длиной 1 м при  $\frac{d}{a}=0,01$  (рис. 9), получим

$$\lambda = 1,015l^{-0,14}. \quad (16)$$

Из этой зависимости видно, что на сопротивление сети существенное влияние оказывает изменение ее длины. Пренебрегать этим явлением

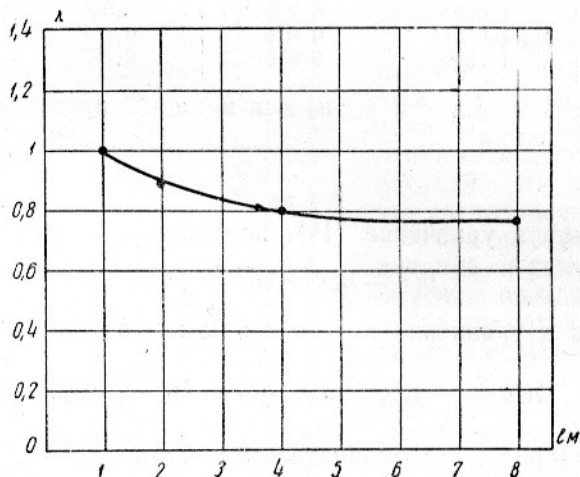


Рис. 9. Вспомогательный график к определению коэффициента  $\lambda$ , учитывающего изменение сопротивления сети в зависимости от ее длины

нием при расчетах нагрузок, испытываемых сетью, нельзя, так как при этом будем допускать значительную ошибку, достигающую в некоторых случаях 30%.

Подставив количественное выражение коэффициентов в уравнение (10), получим формулу сопротивления сети при движении ее параллельно своей плоскости

$$R_0 = 1,4l^{-0,14} \left( 1 + 5 \frac{d}{a} \right) \left( 0,9 + 0,04 \frac{u_1}{u_2} + 0,55e^{-2,4 \frac{u_1}{u_2}} \right) Fv^{1,96}. \quad (17)$$

#### Сопrotивление рыболовной сети в зависимости от угла встречи ее с потоком

Изучением сопротивления рыболовной сети в зависимости от угла встречи ее с потоком, кроме японских исследователей, никто не занимался.

Сопrotивление сети в зависимости от угла встречи с потоком японский исследователь Таути выражает формулой

$$R_x = R_{90} + (R_{90} - R_0) \frac{\alpha}{90}. \quad (18)$$

d	Скорость в м/сек	Сопротивление сети в кг при $\alpha^\circ$						
		0	15	30	45	60	75	90
0,02	1,00	1,572	2,146	2,578	3,108	3,624	3,712	3,824
0,02	0,91	1,206	1,743	2,174	2,573	2,876	3,014	3,152
0,02	0,53	0,468	0,623	0,765	0,887	0,984	1,015	1,066
0,02	0,20	0,069	0,092	0,117	0,134	0,149	0,160	0,165
0,04	1,00	1,791	3,312	4,765	5,956	6,876	7,442	7,716
0,04	0,91	1,347	2,618	3,794	4,807	5,547	6,067	6,268
0,04	0,53	0,528	0,926	1,298	1,618	1,848	1,985	2,068
0,04	0,20	0,077	0,141	0,212	0,265	0,308	0,331	0,349
0,08	1,00	2,146	5,546	8,643	11,274	13,217	14,518	15,287
0,08	0,91	1,627	4,318	6,986	9,165	10,916	11,983	12,486
0,08	0,53	0,639	1,547	2,364	3,108	3,641	3,917	4,158
0,08	0,20	0,087	0,231	0,384	0,511	0,603	0,661	0,687

Н. Т. Сенин, анализируя опытные данные Таути, установил, что между  $R$  и  $\alpha$  линейной зависимости не существует.

Результаты наших исследований (табл. 10) также показывают, что между  $R$  и  $\alpha$  нет линейной зависимости и что эта зависимость, как следует из рис. 10, изображается синусоидой.

Характер изменения сопротивления сети в зависимости от угла  $\alpha$  выражается уравнением

$$R_x = R_{90} + (R_{90} - R_0) \sin \alpha. \quad (19)$$

Это уравнение рекомендуется для определения нагрузок, испытываемых сетью при ее движении под углом к своей плоскости.

Сравнение данных, полученных по формулам (18) и (19), с опытными данными показывает, что отклонение по нашей формуле в среднем в 5 раз меньше, чем по японской формуле.

### ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований по сопротивлению траловых рыболовных сетей в зависимости от их структуры можно сделать следующие выводы.

1. При расположении сети перпендикулярно потоку с изменением посадки сети ее сопротивление изменяется пропорционально выражению  $\chi = \frac{0,54}{u_1 u_2} - 0,09$ .
2. С изменением запаса высоты сети  $\frac{L}{S}$  ее сопротивление изменяется пропорционально выражению

$$\Theta = 1,6 - 2,96 \frac{L}{S} + 2,36 \left( \frac{L}{S} \right)^2.$$

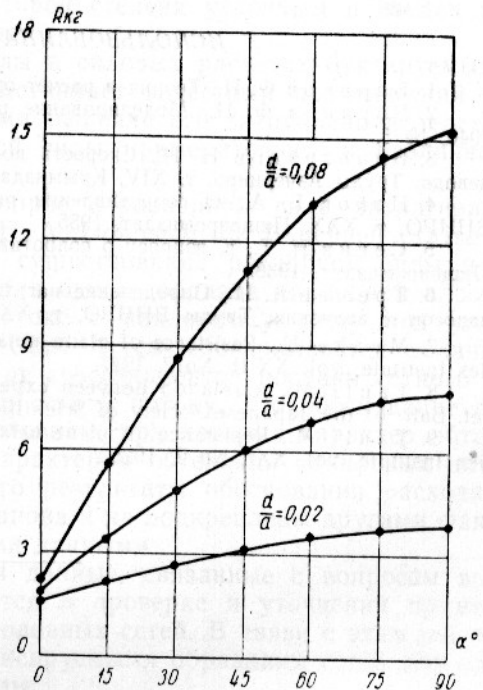


Рис. 10. Изменение сопротивления сети в зависимости от угла встречи ее с потоком



При расположении сети параллельно потоку и под некоторым углом к нему

3. С изменением отношения  $\frac{d}{a}$  сопротивление сети изменяется пропорционально выражению  $\Delta = 1 + 5 \frac{d}{a}$ .

4. С изменением посадки сети ее сопротивление изменяется пропорционально выражению

$$\chi = 0,9 + 0,04 \frac{u_1}{u_2} + 0,55e^{-2,4 \frac{u_1}{u_2}}$$

5. С изменением длины сети при постоянной высоте сопротивление сети изменяется пропорционально выражению

$$\lambda = 1,015l^{-0,14}$$

6. С изменением угла встречи сети с потоком ее сопротивление изменяется по закону синусоиды и выражается формулой

$$R_x = R_{90} + (R_{90} - R_0) \sin \alpha.$$

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов Ф. И., Теория и расчет орудий рыболовства, Пищепромиздат, 1948.
2. Баранов Ф. И., Моделирование рыболовных орудий, «Рыбное хозяйство» 1940, № 5.
3. Виноградов Н. Н., Скорость погружения нижней подборы кошелькового невода, Труды Азчерниро, т. XIV, Крымиздат, 1950.
4. Попов Б. А., О сопротивлении рыболовных сетей в потоке воды, Труды ВНИРО, т. XXX, Пищепромиздат, 1955.
5. Сенин Н. Т., К вопросу о сопротивлении сетей, Труды Мосрыбвтуза, вып. I, Пищепромиздат, 1938.
6. Трещев А. И., Определение нагрузок на ставные невода с учетом течения, наносов и волнения, Труды ВНИРО, т. XXX, Пищепромиздат, 1955.
7. Muraке U., Resistance of plane nets in Water, Journal of the Imperial Fisheries Institute, vol. XXIII, No 2, 1927.
8. Tauti M., A relation between experiments on model and full Scale of fishing net. Bull. of the Japanese Society of Scientific Fisheries, vol. III, No 4, 1934.
9. Tauti M., Resistance of plane nets in Water, Journal of the Imperial Fisheries Institute, vol. XXI, No 2, 1925.