

Разработка равнопрочной конструкции канатно-сетной части разноглубинного трала

DOI

Д-р техн. наук, профессор
М.М. Розенштейн –
 кафедра промышленного
 рыболовства, Калининградский
 государственный технический
 университет (ФГБОУ ВО «КГТУ»)

@ rozenshtein@klgtu.ru

DEVELOPMENT OF UNIFORM STRENGTH DESIGN OF CABLE-NET MID-WATER TRAWL

Rozenshtein M.M., Doctor of Science, Professor – Kaliningrad State Technical University, rozenshtein@klgtu.ru

The article implements the previously outlined proposal [1] on the feasibility of calculating the diameters of cables and threads of the cable-net part of a mid-water trawl based on ensuring their strength is equal to the cables in the first net piece. The case study was carried out regarding a commonly used trawl “Atlantic-1920 m, Nizin” developed by the company “Fishing Service”.

The calculation algorithm is described which includes determination of resistance forces of the cable-net part and tensions in the cables and threads of net pieces. The safety factor is determined on the basis of the permissible stresses for the respective materials of which cables and threads are manufactured. After that, the values of diameters for cables and threads are calculated so as to ensure that the safety factor in the net pieces is equal to the cables in the first net piece. As a result, the formula is derived, which is able to calculate the diameters of cables and threads of the cable-net part of a mid-water trawl based on ensuring their strength is equal to the cables in the first net piece.

В статье реализуется ранее изложенное предложение [1] о целесообразности расчётов диаметров канатов и ниток канатно-сетной части разноглубинного трала исходя из обеспечения равной их прочности канатам в первой пластине. В качестве примера использован трал «Атлантик -1920 м, Низин», разработанный фирмой «Фишеринг Сервис» из Калининграда, и повсеместно используемый в различных районах промысла для лова пелагических рыб. Изложен алгоритм расчётов, включающий определение сил сопротивления канатно-сетной части и усилия в канатах и нитках пластин. По допускаемым напряжениям соответствующих материалов, из которых изготовлены канаты и нитки, определяется запас их прочности. Затем вычисляются значения диаметров канатов и ниток при условии, что их запас прочности в пластинах равен запасу прочности в первой канатной пластине. В завершении работы выведена формула, позволяющая рассчитать диаметры канатов и ниток в канатно-сетной части разноглубинного трала, обеспечивающие их равнопрочность канатам первой пластины трала.

Ключевые слова:
 разноглубинный трал,
 расчет, равнопрочная
 конструкция

Keywords:
 mid-water trawl, calculation,
 uniform strength

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при проектировании разноглубинного трала используются методы обоснования таких его характеристик как вертикальное и горизонтальное раскрытие, скорость траления и допустимая сила сопротивления при этой скорости. Однако методы обоснования характеристик канатно-сетной части, включающих шаг ячеи и диаметр канатов и ниток, отсутствуют. В этих целях используется накопленный практический опыт создания разноглубинных тралов.

Шаг ячеи в канатной части выбирается исходя из длины турбулентного шлейфа, образующегося за канатом. Однако точное значение этой длины до сих пор неизвестно. Шаг ячеи в сетной части выбирается в соответствии с размерами и поведением облавливаемых рыб. Но и последние характеристики не имеют численных значений. Таким образом, шаг ячеи во всех пластинах канатно-сетной части назначается проектировщиком на основе имеющегося у него опыта проектирования разноглубинных тралов.

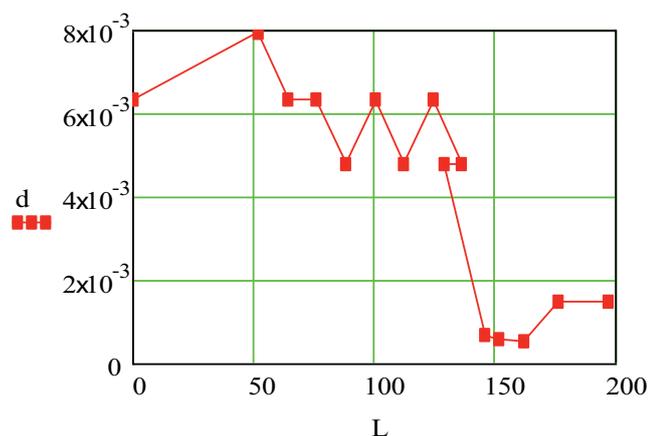


Рисунок 1. Распределение значений диаметров канатов и ниток по длине канатно-сетной части разноглубинного трала, спроектированного в «МариНПО» (чертёж 009-00-000)

Figure 1. The distribution of cable and thread diameters along the length of the cable-net part of a mid-water trawl, design of «MariNPO» (drawing 009-00-000)

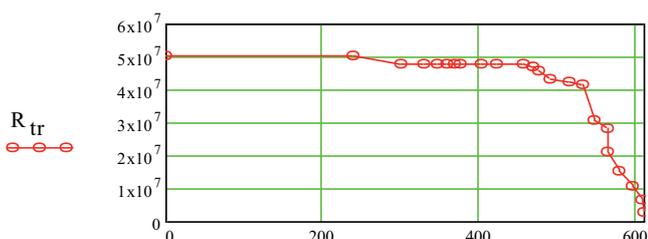


Рисунок 2. График изменения силы сопротивления КСЧ вдоль топенанта

Figure 2. The chart of resistance force change for the cable-net part along the belly line

Та же картина имеет место при назначении диаметра канатов и ниток в канатно-сетной части (КСЧ) разноглубинных тралов.

Анализ конструкций КСЧ разноглубинных тралов показывает, что диаметр ниток и канатов, а, следовательно, и допускаемые напряжения на разрыв в элементах КСЧ, распределены по длине КСЧ (топенанту) произвольно, в результате чего зависимость между значениями указанных параметров канатно-сетной пластины от её расположения вдоль топенанта весьма слабая. Между тем очевидно, что наибольшее значение усилий имеет место в элементах канатных пластин и оно должно уменьшаться в последующих пластинах по направлению к сетному мешку.

В качестве иллюстрации слабой связи между диаметром канатов и ниток КСЧ и расположением пластин на рисунке 1 приведены соответствующие данные для КСЧ разноглубинного трала, спроектированного в свое время на предприятии «МариНПО» из Калининграда (чертёж 009-00-000).

На рис. 1 обозначено: d – значения диаметров канатов и ниток в пластинах КСЧ;

L – расстояния до мест расположения пластины по длине КСЧ, начиная от гужа и до конца сетного мешка.

Как следует из рисунка 1, значения диаметров канатов и ниток распределены случайным образом. Такой случайный набор значений диаметров канатов и ниток приводит к излишнему запасу прочности сетных пластин и, как следствие, к удорожанию КСЧ тралов, увеличению силы сопротивления орудия лова и расхода топлива на его буксировку.

В этой связи предлагается [1] создание таких конструкций КСЧ, в которых все канатно-сетные пластины имели бы одинаковый запас прочности, а значения диаметров канатов и ниток соответствовали бы по прочности канатам в первой канатной пластине. Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

- исследовать, как меняются значения сил сопротивления КСЧ в целом и без учёта каждой последующей пластин вплоть до сетного мешка;
- на основе полученных данных определить, как меняются усилия в канатах и нитках пластин вдоль топенанта до пластин сетного мешка;
- в соответствии с найденными усилиями подобрать значения диаметров ниток и канатов, обеспечивающие постоянную величину запаса их прочности.

Решение перечисленных задач иллюстрируется расчётом на примере трала «Атлантик-1920 м, Низин», разработанного фирмой «Фишеринг Сервис» из Калининграда, и повсеместно используемого в различных районах промысла для лова пелагических рыб.

КСЧ трала «Низин» состоит из 4-х пластин: двух одинаковых верхней и нижней пластины и двух одинаковых боковых пластин. Мешок – восьмипластный. Канаты и нитки изготовлены

Таблица 1. / Table 1.

Пластины		1	2	3	4	5	6
		к	к	к	к	к	к
Шаг ячеи а	м	20	15	12	10	8	6
Диаметр d	мм	14	14	14	12	12	12
Посадочный коэффициент α_x	безразм.	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Длина пластины по топенанту l	м	0	240	300	330	346	358
Площадь канатов и ниток F_n	м ²	2,974*10 ⁴	2,96*10 ⁴	2,852*10 ⁴	2,845*10 ⁴	2,842*10 ⁴	2,841*10 ⁴
Пластины		7	8	9	10	11	12
		к	к	к	с	с	с
Шаг ячеи а	м	5	4	2	4	2	1
Диаметр d	мм	12	12	12	10	6,1	5,1
Посадочный коэффициент α_x	безразм.	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,075
Длина пластины по топенанту l	м	368	376	402	422	467	469
Площадь канатов и ниток F_n	м ²	2,84*10 ⁴	2,84*10 ⁴	2,839*10 ⁴	2,806*10 ⁴	2,702*10 ⁴	2,806*10 ⁴
Пластины		13	14	15	16	17	18
		с	с	с	с	с	с
Шаг ячеи а	м	0,3	0,4	0,2	0,16	0,12	0,08
Диаметр d	мм	4,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0
Посадочный коэффициент α_x	безразм.	0,66	0,114	0,095	0,116	0,136	0,094
Длина пластины по топенанту l	м	475	491	515	531	547	563
Площадь канатов и ниток F_n	м ²	2,702*10 ⁴	2,535*10 ⁴	2,478*10 ⁴	2,427*10 ⁴	1,858*10 ⁴	9,627*10 ³
Пластины		19	20	21	22	23	
		с	с	с	с	с	
Шаг ячеи а	м	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	
Диаметр d	мм	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	
Посадочный коэффициент α_x	безразм.	0,094	0,094	0,093	0,092	0,138	
Длина пластины по топенанту l	м	563	579	595	607	610	
Площадь канатов и ниток F_n	м ²	1,223*10 ³	9,005*10 ³	6,207*10 ³	3,779*10 ³	1,721*10 ³	

из материала «дейнима». Характеристики КСЧ приведены в таблице 1

Перед тем, как выполнять расчёты по обеспечению равнопрочности КСЧ указанного трала, были определены необходимые значения посадочных коэффициентов α_x и площадь канатов и ниток F_n во всех пластинах по методике, изложенной в [2].

Полученные данные приведены в таблице 1.

Далее выполнялся расчёт площадей канатов и ниток и силы сопротивления КСЧ трала в целом и без учёта каждой предыдущей пластины вплоть до сетного мешка. При этом использовалась методика расчёта, приведённая в учебнике [2]. Скорость траления принята равной 5 узл.

На рисунке 2 показан характер изменения площади канатов и ниток F_n вдоль топенанта, при расчёте сопротивления КСЧ трала в целом и без учёта каждой предыдущей пластины, вплоть до сетного мешка. Коэффициент сопротивления КСЧ изменяется незначительно, в пределах 1,05-1,07. Поэтому сила сопротивления зависит только от значений площади ниток и канатов.

В дальнейших расчётах было принято, что полученные значения сил сопротивления равномерно распределены по периметру каждой пластины и приложены к ячейкам по верхним кромкам пластин. Учитывая, что посадочный коэффициент α_x численно равен синусу угла между стороной ячейки и вертикалью, были най-

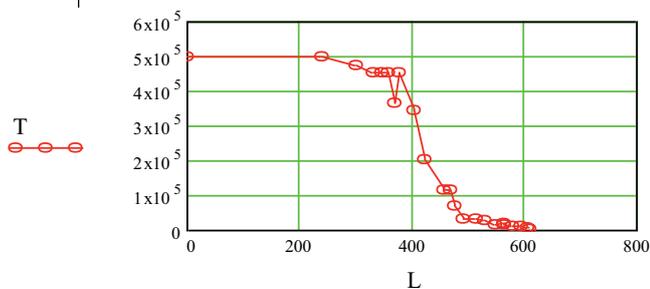


Рисунок 3. Характер изменения усилий в канатах и нитках КСЧ

Figure 3. The stresses for the cables and threads of the cable-net part

дены значения усилий в канатах и нитках КСЧ по формуле:

$$T = r/2 * \cos \alpha, \quad (1)$$

где r – сила сопротивления, приложенная к каждой ячейке пластин КСЧ;

α – угол между стороной ячейки и вертикалью.

Характер изменения усилий в канатах и нитках КСЧ показан на рисунке 3.

Далее по справочным данным [3] определялись значения разрывных усилий материала «дейнима», в соответствии с диаметрами ниток и канатов d_0 КСЧ траля «Низин». Значения указанных диаметров приведены на рисунке 4.

На рисунке 4 обозначены:

d_0 – первоначальные значения диаметра у траля «Низин»;

d_{rav} – значения диаметра канатов и ниток КСЧ, полученные из условия равнопрочности всех пластин.

Как следует из рисунка 4, характер изменения диаметра канатов и ниток вдоль топенанта КСЧ практически совпадает с характером изменения усилий в канатах и нитках.

Запас прочности канатов и ниток во всех пластинах КСЧ траля был принят таким же, как в первой канатной пластине. По значениям запаса прочности и усилий в канатах и нитках T определялись разрывные усилия и соответствующие им диаметры канатов и ниток d_{rav} для всех пластин равнопрочной канатно-сетной части траля. Полученные

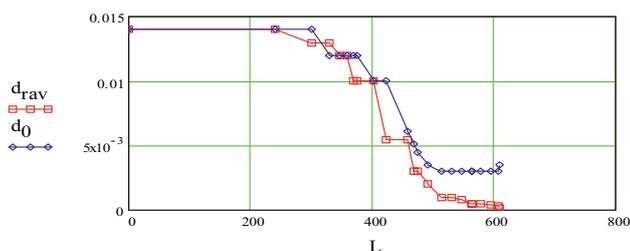


Рисунок 4. Характер изменения диаметра канатов и ниток вдоль топенанта КСЧ

Figure 4. The diameters for the cables and threads along the belly line

данные приведены на рисунке 5. Как следует из графиков (рис. 5), потребные значения диаметров d_{rav} несколько ниже, чем первоначальные d_0 .

И, наконец, по полученным значениям диаметров d_{rav} определены площади канатов и ниток F_{nraV} равнопрочной канатно-сетной части траля. Эти значения приведены на графиках рисунка 5.

На рисунке 5 показана также аппроксимация F_{na} данных о равнопрочной КСЧ F_{nraV} .

Как следует из приведённых данных, значения площадей равнопрочной конструкции F_{nraV} существенно ниже значений площадей канатов и ниток в пластинах траля «Низин» F_n .

Суммарные значения площадей канатов и ниток для траля «Низин» и равнопрочного траля составляют соответственно:

$$F_n = 5,1 * 10^5 \text{ м}^2;$$

$$F_{nraV} = 3,868 * 10^5 \text{ м}^2$$

Снижение расхода сетематериалов на постройку равнопрочной конструкции канатно-сетной части траля, по сравнению с существующей канатно-сетной частью траля «Низин», составляет

$$\Delta F_n = 0,281 \text{ или } 28\%$$

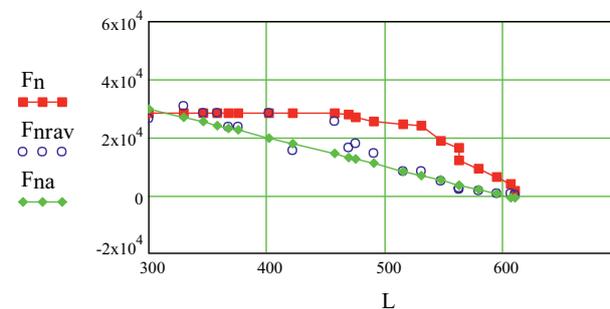


Рисунок 5. Значения площадей канатов и ниток в пластинах траля «Низин» F_n и равнопрочной КСЧ траля F_{nraV}

Figure 5. The values of the areas for the cables and threads in the net pieces for the trawl «Nizin» F_n and for a trawl with uniform strength cable-net part F_{nraV}

Поскольку сила сопротивления КСЧ траля пропорциональна суммарным значениям площадей канатов и ниток, то и сила сопротивления снизится на ту же величину, а значит и существенно уменьшится расход топлива на буксировку траля.

Далее была поставлена задача разработки универсальной формулы (для любой конструкции КСЧ траля и любой канатной или сетной пластины) для расчёта диаметра, обеспечивающего равнопрочность канатов и ниток. В этих целях было принято, что характер изменения равно-

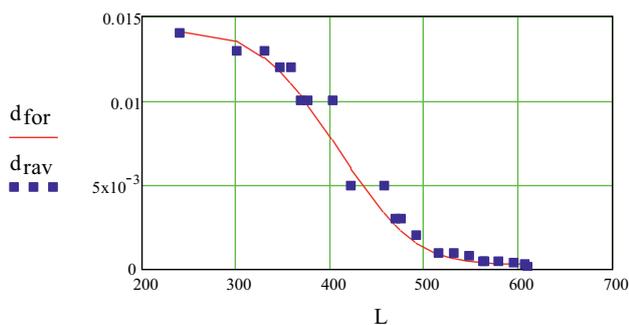


Рисунок 6. Аппроксимация равнопрочных значений диаметров ниток и канатов КСЧ разноглубинного трала «Атлантик-1920 м, Низин»

Figure 6. An approximation of uniform strength values for diameters of threads and cables for the cable-net part of mid-water trawl «Atlantic-1920 m, Nizin»

прочных диаметров одинаков для всех тралов и соответствует показанному на рисунке 6.

На основании аппроксимации значений d_{rav} , как показано на рисунке 6, была получена формула:

$$d_{for} = d_{1ksh} * \exp(-0,6 * ((L-b)/c)^d) \quad (2)$$

где d_{1ksh} – значения диаметров канатов в первой канатной пластине канатно-сетной части разноглубинного трала, мм;

$b = 2,15 * 10^2$ м – значение размерного коэффициента;

$c = 1,84 * 10^2$ м – значение размерного коэффициента;

$d = 3,4$ – значение безразмерного коэффициента.

На рисунке 6 показано:

d_{rav} – точки, соответствующие равнопрочным значениям диаметров канатов и ниток КСЧ трала «Низин».

d_{for} – кривая, аппроксимирующая точки, соответствующие равнопрочным значениям диаметров канатов и ниток трала «Низин».

Приведённая аппроксимирующая кривая точно соответствует значениям равнопрочного диаметра при расстоянии $L = 600$ м, а характер этой кривой весьма близок характеру изменения положения точек от расстояния L .

Для того, чтобы рассчитывать равнопрочные значения диаметров канатов и ниток следует использовать значения диаметра канатов в первой канатной пластине d_{1ksh} . При этом крайнее значение расстояния от гужа трала до пластины L , для которой ведётся расчёт равнопрочного значения диаметра ниток не должно превышать 550 метров.

Например, предположим, что необходимо определить равнопрочные значения диаметров канатов и ниток для трала, у которого в первой пластине канатной части диаметр канатов равен 14 мм, как это имело место у рассмотренного выше трала «Низин». Тогда на расстоянии

$L = 500$ м от гужа диаметр равнопрочных ниток составит:

$$d = 14 \text{ мм} * \exp(-0,6 * ((500 - 2,15 * 10^2) / 1,84 * 10^2)^{3,4}) = 0,98 \text{ мм}$$

Если в первой пластине канатной части диаметр канатов равен 8 мм, то на расстоянии, например, $L = 400$ м от гужа диаметр равнопрочных ниток будет равен:

$$d = 8 \text{ мм} * \exp(-0,6 * ((400 - 2,15 * 10^2) / 1,84 * 10^2)^{3,4}) = 4,3 \text{ мм}$$

и так далее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных исследований получено два важных результата.

Во-первых, установлено, что обеспечение равнопрочности диаметров канатов и ниток, по отношению к первой канатной пластине разноглубинного трала, позволяет весьма существенно снизить расход сетематериалов и силы сопротивления при буксировке. Для рассмотренного выше трала «Низин» экономия сетематериалов, при обеспечении равнопрочности, составляет 28%. Ясно, что для других конструкций канатно-сетной части экономия может быть и меньше, но в любом случае она будет достаточно значительной.

Во-вторых, и это главное, получена формула (2), позволяющая достаточно просто рассчитать значения равнопрочных диаметров канатов и ниток для любых конструкций КСЧ разноглубинного трала и для любой канатной и сетной пластины. Выше приведены некоторые примеры такого расчёта.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Розенштейн М.М. Постановка задачи научного обоснования равнопрочной конструкции канатно-сетной части разноглубинного трала. /М.М. Розенштейн/ М: Журнал «Рыбное Хозяйство», 2020. № 1, – С. 47.
1. Rozenshtejn M.M. Postanovka zadachi nauchnogo obosnovaniya ravnoprochnoj konstrukcii kanatno-setnoj chasti raznoglubinnogo trala. /M.M. Rozenshtejn/ М: ZHurnal «Rybnoe Hozyajstvo», 2020. № 1, – P. 47.
2. Rozenshtejn M.M. The scientific basis for uniform strength design of a mid-water trawl. /M.M. Rozenshtejn / Moscow: Magazine «Fisheries», 2020. № 1. – p. 47.
2. Rozenshtejn M.M. The scientific basis for uniform strength design of a mid-water trawl. /M.M. Rozenshtejn / Moscow: Magazine «Fisheries», 2020. № 1. – P. 47.
3. Розенштейн Проектирование орудий рыболовства / М.М.Розенштейн/ Учебник для ВУЗов. - М.: Колос, 2009. – 399 с.
3. Rozenshtejn Proektirovanie orudij rybolovstva / M.M.Rozenshtejn/ Uchebnik dlya VUZov. - M.: Kolos, 2009. – 399 pp.
4. Rozenshtejn M.M. Proektirovanie orudij rybolovstva [Designing fishery tools]. Uchebnik dlja vuzov, Moscow, Kolos, 2009. – 399 p.
4. Rozenshtejn M.M. Proektirovanie orudij rybolovstva [Designing fishery tools]. Uchebnik dlja vuzov, Moscow, Kolos, 2009. – 399 p.
6. Интернет-ресурс. Канаты и нитки.
6. Internet-resource. Kanaty i nitki.
7. Интернет-ресурс: The cables and threads.
7. Internet resource: The cables and threads.