
ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА

В.И. Габрюк, Е.Е Мазур

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЗНОГЛУБИННЫХ ТРАЛОВ

Изложены аналитические методы определения характеристик проектируемых тралов. Рассмотрен пример проектирования трала для промысла командорского кальмара.

Ключевые слова: трал, проектирование, аналитические методы.

V.I. Gabruk, E.E. Mazur

METHOD OF THE MIDWATER TRAWLS DESIGNING

The analytical methods of the determination of the features of the designed trawls are stated. The considered example of the designing the trawl for handicraft industry commander squid.

Keywords: trawl, designing, analytical methods.

Введение

Вопросы проектирования орудий рыболовства и других инженерных сооружений излагаются в работах [1-9]. Аналитические методы расчета характеристик проектируемых орудий рыболовства изложены в работах [10-17]

Проектирование тралов, как и любых других инженерных сооружений, является искусством, которое должно опираться на опыт предшественников и научную базу.

Основным методом проектирования тралов и других орудий рыболовства является метод проектирования по прототипу. Прототипы – это орудия рыболовства, созданные талантом и интуицией самородков. Такие орудия прекрасно работают на практике. Но они не являются оптимальными с точки зрения расхода материалов на их изготовление, ловистости и затрат энергии на их буксировку. При проектировании по прототипу его недостатки автоматически переносятся на новое проектируемое орудие рыболовства. Кроме того, такой способ проектирования не позволяет выполнять оптимизацию параметров орудия лова.

Оптимизация орудий рыболовства не может быть выполнена без обоснования их параметров, которое опирается на исследования их геометрии.

Геометрия конических оболочек канатной мотни тралов

Мотня пелагических тралов представляет собой коническую оболочку, набираемую из канатов и дельевых пластин. Число ячеек в поперечных сечениях канатной мотни тралов изменяется в широких пределах: $n_{я} = 28 - 60$. Шаг ячеек в устье $a_1 = 5 - 30$ м; в концевом сечении канатной мотни $a = 2,4 - 4,8$ м.

В большинстве конструкций тралов канатная мотня имеет ромбическую ячейку. Причем используется два принципа комплектования мотни, когда число ячеек в поперечных сечениях по ее длине постоянно и когда оно изменяется. Исследуем геометрию канатной мотни трала, когда число ячеек в ее поперечных сечениях не изменяется.

На рис. 1, б показана развертка на плоскость конической оболочки и центральный угол 2δ , охватывающий один ряд продольных ромбических ячеей. Из этого рисунка следует:

$$\begin{aligned} \varepsilon_y &= \varepsilon_1 + \delta, \quad 2v_N = 2\delta n_{\text{я}}, \quad 2v_N l = 2\delta n_{\text{я}} l = \pi d_1, \\ v_N &= \delta n_{\text{я}} = \pi d_1 / 2l = \pi \sin \alpha_N, \quad \delta = \pi \sin \alpha_N / n_{\text{я}}. \end{aligned}$$

Здесь $n_{\text{я}}$ – количество ячеей в поперечных сечениях мотни; $2v_N$ – угол между боковыми кромками развертки конуса; α_N – угол между осью конуса и его образующей, рис. 1.

Шаг ячеей мотни уменьшается по длине траля от устья к мешку.

На рис. 2 показан угол δ , охватывающий продольный ряд половинок ромбических ячеей. Из этого рисунка следует:

$$l_i - l_{i+1} = a_i \sin \varepsilon_i \operatorname{ctg} \delta - a_{i+1} \sin \varepsilon_{i+1} \operatorname{ctg} \delta = a_i \cos \varepsilon_i + a_{i+1} \cos \varepsilon_{i+1}.$$

Откуда легко получить рекуррентную формулу, дающую связь между шагами ячеей соседних рядов:

$$a_{i+1} = a_i \frac{\sin \varepsilon_i - \cos \varepsilon_i \operatorname{tg} \delta}{\sin \varepsilon_{i+1} + \cos \varepsilon_{i+1} \operatorname{tg} \delta} = a_i \frac{\sin(\varepsilon_i - \delta)}{\sin(\varepsilon_{i+1} + \delta)}. \quad (1)$$

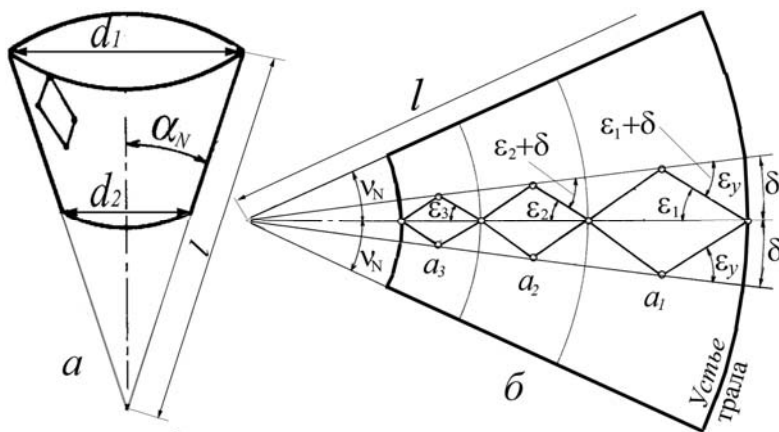


Рис. 1. а – параметры конической оболочки; б – ее развертки на плоскость – криволинейной трапеции
 Fig. 1. a – parameters of the cone-shaped shell; б – Its unrolling on plane – curvilinear trapezoid

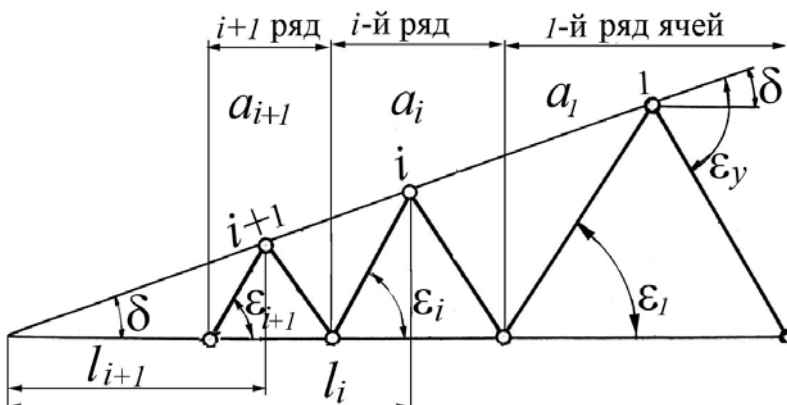


Рис. 2. Угол δ , охватывающий продольный ряд половинок ромбических ячеей
 Fig. 2. Corner δ , engulfing longitudinal row half rhombic meshes

Для тралов максимальное значение угла δ

$$\delta_{\max} = \frac{\pi \sin \alpha_N^{\max}}{n_{\text{я}}^{\min}} = \frac{3,14 \sin 12^{\circ}}{28} = 0,023 \text{ рад} = 1,34^{\circ}.$$

При малых углах δ выполняется соотношение

$$\text{tg } \delta = \delta + \delta^3/3 + \dots \approx \delta = v_N / n_{\text{я}} = \pi \sin \alpha_N / n_{\text{я}}.$$

Подставляя это выражение в (1), получим

$$a_{i+1} = a_i \frac{n_{\text{я}} \sin \varepsilon_i - \pi \sin \alpha_N \cos \varepsilon_i}{n_{\text{я}} \sin \varepsilon_{i+1} + \pi \sin \alpha_N \cos \varepsilon_{i+1}}. \quad (2)$$

Здесь a_i, a_{i+1} – шаги ячей в i -м и $i+1$ рядах; $\varepsilon_i, \varepsilon_{i+1}$ – углы раскрытия ячей i -го и $(i+1)$ -го рядов; $n_{\text{я}}$ – количество ячей в поперечных сечениях мотни; α_N^i – угол атаки сетной оболочки трала.

Угол атаки сетных оболочек канатной мотни тралов составляет $\alpha_N = 7 - 12^{\circ}$.

Для расчета шагов ячей по формуле (2) надо знать закон изменения угла раскрытия ячей по длине трала.

Угол раскрытия ячей первого ряда определяется по формуле

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_y - \delta = \varepsilon_y - \pi \sin \alpha_N / n_{\text{я}}.$$

Здесь ε_y – угол раскрытия ячей в устье трала, определяемый по формуле

$$u_1^y = \sin \varepsilon_y = \pi D_y / 2 a_1 n_{\text{я}},$$

где D_y – диаметр устьевого сечения трала; a_1 – шаг ячей в устье.

По данным [4], в первом ряду ячей канатной мотни трала

$$u_1^H = \sin \varepsilon_1 = 0,15 - 0,20 \Rightarrow \varepsilon_1 = 8,6 - 11,5^{\circ}.$$

В последнем ряду ячей канатной мотни

$$u_1^K = \sin \varepsilon_k = 0,26 - 0,30 \Rightarrow \varepsilon_k = 15 - 17,5^{\circ}.$$

Если равномерно увеличивать коэффициент раскрытия ячей от устья трала к концу канатной мотни, то его приращение от ряда к ряду составит

$$\Delta u_1 = (u_1^K - u_1^H) / (n_R - 1).$$

Коэффициент раскрытия ячей в i -м ряду

$$u_1^i = \sin \varepsilon_i = u_1^H + (i - 1)\Delta u_1 = u_1^H + (i - 1)(u_1^K - u_1^H)/(n_R - 1),$$

где n_R – число рядов ячеек по длине канатной мотни; u_1^H, u_1^K – коэффициенты раскрытия ячеек в начале и конце канатной мотни.

Разработана программа StepMesh, позволяющая определять шаги ячеек канатной мотни.

В табл. 1 приведены результаты расчетов шагов ячеек по длине канатной мотни пелагического трала, выполненные по программе StepMesh, при следующих исходных данных:

- число ячеек в поперечных сечениях канатной мотни $n_{я} = 42$;
- диаметр устья трала $D_y = 50$ м;
- число рядов ячеек по длине канатной мотни $n_R = 7$;
- коэффициент раскрытия ячеек в конце канатной мотни $u_1^K = 0,3$.
- углы атаки сетной оболочки канатной мотни $\alpha_N = 8; 9; 10^0$.

Расчеты выполнены при условии, что угол атаки канатной мотни постоянный по ее длине, т.е. $\alpha_N = const$.

Таблица 1

Расчетные длины канатных элементов мотни трала

Table 1

Accounting lengths rope element of the trawl

α_N , гр.	a_1 , М	a_2 , М	a_3 , М	a_4 , М	a_5 , М	a_6 , М	a_7 , М
8	11	8,5	6,8	5,5	4,6	3,9	3,4
9	11	8,4	6,6	5,3	4,3	3,7	3,1
10	11	8,2	6,3	5	4,1	3,4	2,9

Геометрия конических оболочек делевой мотни тралов

Делевая часть мотни комплектуется из сетных пластин с шагом ячеек: 1200, 800, 400, 200, 100, 80, 60 мм. Угол раскрытия ячеек всех пластин делевой мотни тралов практически одинаков и составляет по данным Короткова [4]

$$\varepsilon_i = 15 \div 17,5^0 \Rightarrow u_1^i = \sin \varepsilon_i = 0,26 - 0,30.$$

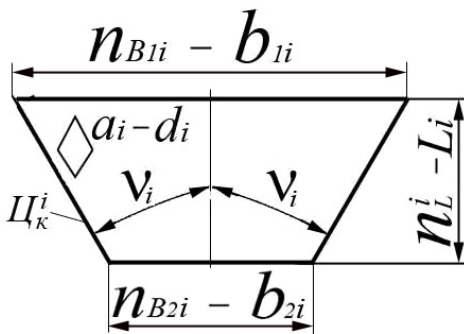


Рис. 3. Параметры i -й пластины
Fig. 3. Parameters i -ouch plate

Параметры i -й пластины показаны на рис. 3.

Здесь a_i, d_i – шаг ячеек i -й пластины и диаметр ее нити; n_{B1i}, n_{B2i}, n_L^i – число ячеек по ширине верхней/нижней кромок пластины и по ее длине; $n_{зш}^{(i)}$ – число ячеек, забираемых в шворочный шов с одной кромки пластины; $n_{B1i}^{(-)}, n_{B2i}^{(-)}$ – число ячеек по ширине верхней/нижней кромок пластины без учета ячеек, забираемых в шов; b_{1i}, b_{2i}, L_i – ширина в жгуте верхней/нижней кромок пластины и ее длина; $b_{1i}^{(-)}, b_{2i}^{(-)}$ –

ширина в жгутах верхней/нижней кромок пластины без учета ячей, забираемых в шворочный шов; $2\nu_i$ – угол между боковыми кромками пластины; Π_k^i – цикл кройки боковых кромок пластины.

Циклы кройки боковых кромок делевых пластин мотни определяются по формуле

$$\Pi_k^i = (\operatorname{tg} \varepsilon_i - \operatorname{tg} \nu_i) / 2 \operatorname{tg} \nu_i. \quad (3)$$

Если все пласти делевой части трала одинаковы, то угол ν_i определяется по формуле

$$\nu_i = \pi \sin \alpha_N^i / n_p, \quad (4)$$

где n_p – количество пластей делевой части трала; α_N^i – угол атаки сетной оболочки трала в районе i -й пластины.

При определении циклов кройки делевых пластин мотни необходимо учитывать то обстоятельство, что угол атаки сетной оболочки делевой части трала должен равномерно уменьшаться от $\alpha_N = 7 \div 10^0$ в начале делевой мотни до $\alpha_N = 2 \div 5^0$ в ее конце.

Например, для восьмипластной мотни $n_p = 8$ и $u_1^i = 0,3$ из (3) находим циклы кройки боковых кромок делевых пластин при различных углах атаки сетной оболочки трала:

$$\begin{aligned} \alpha_N^i = 9^0, \quad \Pi_K = 2,056 \approx 2 = \frac{2}{1}; \\ \alpha_N^i = 7^0, \quad \Pi_K = 2,78 \approx 28/10 = \frac{27}{9} + \frac{1}{1} = 9\frac{3}{1} + \frac{1}{1}; \\ \alpha_N^i = 5^0, \quad \Pi_K = 4,09 \approx 4 = \frac{4}{1}. \end{aligned}$$

Если делевые пласти разные, то углы между боковыми кромками их пластин определяется по формуле

$$2\nu_i^{BP} = 2\pi \sin \alpha_N^{(i)} n_{B_i}^{BP(-)} / n_{\text{я}}^i, \quad (BP, БП).$$

Для восьмипластного трала

$$n_{\text{я}}^i = 4n_{B_i}^{BP(-)} + 4n_{B_i}^{БП(-)},$$

где $n_{\text{я}}^i$ – суммарное количество ячей в поперечном сечении; $n_{B_i}^{BP(-)}$, $n_{B_i}^{БП(-)}$ – количество ячей по верхним кромкам i -х пластин верхней и боковой пластей, без учета ячей, забираемых в шворочный шов.

Длина режущей кройки в посадке i -й пластины определяется по формуле

$$l_i = n_{\text{я}}^{(i)} a_i \sin \varepsilon_i / \sin \nu_i = n_{\text{я}}^{(i)} a_i \sqrt{\sin^2 \varepsilon_i + (1 + 2\Pi_k^{(i)})^2 \cos^2 \varepsilon_i},$$

где $n_{\text{я}}^{(i)}$ – число циклов реза по длине i -й пластины.

Минимальное число ячей по длине пластины при одном цикле реза

$$n_L^{\min} = P + 0,5K, \tag{5}$$

где P, K – число узлов, срезаемых по прямой, и число ниток, срезаемых по косой.

Между числом ячей по верхней и нижней кромкам пластины в форме равнобоочной трапеции и циклом кройки ее боковых кромок существует связь

$$n_{B2}^i = n_{B1}^i - 2n_L^i / (1 + 2C_K^i). \tag{6}$$

Проект донно-пелагического трала для лова командорского кальмара

Большой опыт тралового промысла командорского кальмара накопил НБАМР, который занимается его промыслом с 1970 г. На лове кальмаров использовались тралы 108/1056 и 118/1240 м конструкции В.А. Кузика. С 2006 г. на промысле кальмара НБАМР использует тралы 140/1380 и 169/1380 м конструкции А.В. Ермошина. Для траления у дна и уменьшения порывов пелагических тралов используется фальшподбора и специальные дополнительные устройства.

Скорость траления на разных глубинах колебалась в пределах 3,8-4,2 уз. При меньшей скорости наблюдалось большое объеивание кальмара. На промысле при тралении у дна осуществляется деформация устья трала, т.е. уменьшение вертикального раскрытия на 10-20 м.

Первый вопрос, который должен решить проектировщик: необходимо выбрать основные параметры трала так, чтобы судно могло буксировать его у грунта со скоростью 3,8-4,2 уз.

Основными параметрами трала являются:

- горизонтальное/вертикальное раскрытие устья B_y / H_y ;
- шаг ячей в начале/конце канатной мотни a_1 / a_K ;
- угол атаки сетной оболочки канатной мотни трала α_N ;
- количество ячей в поперечных сечениях канатной мотни $n_я$;
- количество ячей по ширине верхней/боковой пластей канатной мотни $n_я^{ВП} / n_я^{БП}$;
- коэффициенты раскрытия ячей в начале/конце мотни u_1^H / u_1^K ;
- длины канатной/делеовой частей мотни L_{KM} / L_{DM} .

Значения указанных выше параметров тралов различных организаций приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры пелагических тралов различных организаций

Table 2

Parameters of pelagic trawls different organization

Трал	$B_y / H_y, м$	$L_{KM} / L_{DM}, м$	$l_1, м$	$n_я$	$n_я^{ВП} / n_я^{БП}$	u_1^H / u_1^K
1	2	3	4	5	6	7
Тралы России: НБАМР, Находка						
108/1056	50/55	66/92 = 0,72	12	44	12/10	0,15/0,28
118/1240	55/60	82/92 = 0,89	12	52	14/12	0,15/0,28
102/960	50/50	56/85 = 0,66	15	32	8/8	0,16/0,30
114/1280	60/60	61/85 = 0,72	20	32	8/8	0,15/0,28
140/1380	70/60	91/100 = 0,91	15	46	14/9	0,16/0,30

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Тралы России: ПБТФ, ТУРНИФ						
100/752	40/40	66/52 = 1,27	9	44	16/6	0,167/0,3
80/792	45/40	63/48 = 1,31	9	44	12/10	0,16/0,3
57/720	40/40	48/43 = 1,17	8	48	12/12	0,174/0,3
130/1040	50/50	78/55 = 1,42	10	54	14/13	0,15/0,28
154/1400	70/70	100/60 = 1,67	12,5	56	16/12	0,157/0,3
172/1568	80/80	140/112 = 1,25	14	56	16/12	0,16/0,3
174/936	50/50		8	60	24/6	0,168/0,3
Тралы России: Fishing Service, Калининград						
320/1920	180/100	182/108 = 1,68	20	48	15/9	0,23/0,32
206/1440	140/85	150/108 = 1,40	12	60	16/14	0,24/0,32
184/1320	100/80	125/65 = 1,92	18	36	11/7	0,214/0,3
155/1080	90/65	95/65 = 1,46	12	36	11/7	0,2/0,3
112/864	75/45	57/65 = 0,88	12	36	11/7	0,2/0,3
Тралы Южной Кореи: Bada Fishing Systems						
107/832	45/40	70/113 = 0,62	8	52	15/11	0,17/0,3
257/1344	60/50	175/98 = 1,79	24	28	9/5	0,26/0,34
Трал США: Net Systems						
176/1650	80/70	109/109 = 1,00	15	56	16/12	0,15/0,28

Определение параметров канатной мотни трала. Раскрытие устья трала определяется размерами рыбных стай и тягоскоростными характеристиками судна. При выборе раскрытия устья проектируемого трала будем использовать опыт НБАМР, который ловил кальмаров тралами 108/1056 и 118/1240 м. Причем в знаменателях этих дробей стоят периметры устьев в жгуте, а не в условной посадке 0,5, как это указывалось до сих пор. Раскрытие этих тралов составляло $B_y / H_y = 50/55$ и $55/60$ м соответственно. Шаг ячеи в устье этих тралов составлял 12 м.

Мотню трала будем рассматривать как усеченный круговой конус. Примем диаметр устья равным $D_y = 56$ м. Шаг ячеи в устье выбираем равным $l_1 = 12$ м. Задаемся коэффициентом раскрытия ячеи в устье $u_1^y = 0,15$. Количество ячей в поперечных сечениях мотни находим из соотношения

$$\pi D_y = 2au_1^y n_y \Rightarrow n_y = \pi D_y / 2au_1^y = 3,14 \cdot 56 / (2 \cdot 12 \cdot 0,15) = 48 \text{ яч.}$$

Принимаем число ячей верхней/нижней пластей по 14, а боковых пластей – по 10 яч., общее количество ячей по периметру канатной мотни трала $n_y = 2 \cdot 14 + 2 \cdot 10 = 48$ яч.

По формуле (2), используя программу StepMesh, найдены следующие длины канатных элементов (шаги ячей) мотни: $l_1 = 12$; $l_2 = 9$; $l_3 = 7$; $l_4 = 5,7$; $l_5 = 4,6$; $l_6 = 3,9$; $l_7 = 3,2$ м при следующих исходных данных: $D_y = 56$ м, $\alpha_N = 9^\circ$, $n_y = 48$ яч, $u_1^K = 0,29$.

Верхняя и боковая пласти канатной части трала показана на рис. 4. Длина верхней подборки без голых концов этого трала равна 132 м, а периметр устья в жгуте равен 1152 м.

Определение параметров делевой мотни трала. Делевую часть мотни будем набирать из сетных пластин с шагом ячеи 1600, 800, 400, 200, 100, 80, 60 мм. На рис. 5 показано соединение канатной и делевой частей трала.

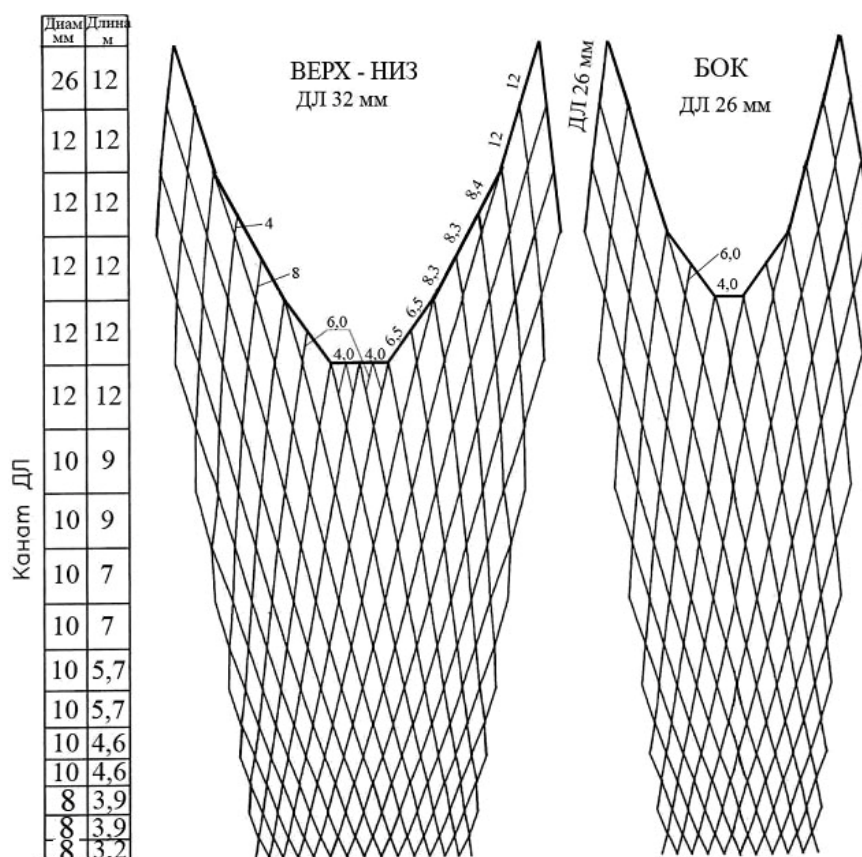


Рис. 4. Канатная часть трала 132/1152 м
 Fig. 4. Rope part of trawl 132/1152 m



Рис. 5. Соединение канатной и делевой частей трала (пять ячей дели забирается в шворочный шов)
 Fig. 5. Join rope and net parts of the trawl (five meshes of net are withdrawn in seam)

Делевую часть трала выполняем восьмипластной, т.е. $n_p = 8$. Все делевые пластины будем брать одинаковыми, поэтому угол между боковыми кромками пластин определяется по формуле

$$2\nu_p^{(i)} = 2\pi \sin \alpha_N^{(i)} / n_p = 2\pi \sin \alpha_N^{(i)} / 8.$$

Здесь $\alpha_N^{(i)}$ – угол атаки сетной оболочки трала в районе i -й пластины. Углы атаки сетной оболочки трала от пластины к пластине будем уменьшать на один градус, т.е. $\alpha_N^{(i+1)} = \alpha_N^{(i)} - 1^\circ$, чтобы в конечном сечении делевой мотни он составлял $2 \div 3^\circ$.

Параметры первой пластины верхней пласти. Шаг ячеи $a_1 = 1600$ мм. Коэффициент раскрытия ячеи $u_1^{(1)} = \sin \varepsilon_1 = 0,29$. Угол раскрытия ячеи $\varepsilon_1 = \arcsin 0,29 = 16,86^0$.

Верхняя канатная плась по ширине имеет 14 ячей. Так как она соединяется с двумя делевыми пластями, то на каждую делевую плась приходится по 7 ячей. На каждую канатную ячею с шагом 3,2 м приходится по две ячеи дели с шагом 1,6 м. На семь ячей канатной мотни приходится $n_{B_{11}}^{(-)} = 14$ ячей дели. В шворочный шов будем забирать по $n_{зш} = 5$ ячей дели с каждой боковой кромки. Общее число ячей по верхней кромке первой пластины $n_{B_{11}} = n_{B_{11}}^{(-)} + 2n_{зш} = 14 + 2 \cdot 5 = 14 + 10 = 24$ яч.

Ширина в жгутах верхней кромки пластины с учетом ячей, забираемых в шворочный шов, $b_{11} = 2a_1 n_{B_{11}} = 2 \cdot 1,6 \cdot 24 = 76,8$ м.

Принимаем цикл кройки боковых кромок первой пластины $U_K^{(1)} = \frac{\Pi}{K} = \frac{1}{1}$. Число ячей по длине пластины при одном цикле реза равно $n_L^{\min} = \Pi + 0,5K = 1 + 0,5 \cdot 1 = 1,5$.

Принимаем число циклов реза $n_{ур}^{(1)} = 4$. Число ячей по длине пластины $n_{L_1} = n_{ур}^{(1)} \cdot n_L^{\min} = 4 \cdot 1,5 = 6$ яч. Определяем число ячей по нижней кромке пластины без учета ячей, забираемых в шворочный шов, $n_{B_{21}}^{(-)} = n_{B_{11}}^{(-)} - 2n_{L_1} / \left(1 + 2U_K^{(1)}\right) = 14 - 2 \cdot 6 / \left(1 + 2 \cdot \frac{1}{1}\right) = 10$ яч.

Число ячей по нижней кромке пластины с учетом ячей, забираемых в шворочный шов, $n_{B_{21}} = n_{B_{21}}^{(-)} + 2n_{зш} = 10 + 2 \cdot 5 = 20$ яч.

Ширина в жгутах нижней кромки пластины с учетом ячей, забираемых в шворочный шов, $b_{21} = 2a_1 n_{B_{21}} = 2 \cdot 1,6 \cdot 20 = 64$ м.

Длина пластины в жгутах

$$L_1 = 2an_{L_1} = 2 \cdot 1,6 \cdot 6 = 19,2 \text{ м.}$$

Длина пластины в посадке

$$L_1^n = L_1 \cos \varepsilon_1 = 19,2 \cos 16,86^0 = 18,375 \text{ м.}$$

Половина угла ν_1 между боковыми кромками пластины

$$\operatorname{tg} \nu_1 = \operatorname{tg} \varepsilon_1 / (1 + 2U_K^{(1)}) = \operatorname{tg} 16,86^0 / (1 + 2 \cdot \frac{1}{1}) = 0,101 \Rightarrow \nu_1 = 5,768^0.$$

Длина режущей кромки в посадке

$$l_1 = n_{ур}^{(1)} a_1 \sin \varepsilon_1 / \sin \nu_1 = 4 \cdot 1,6 \cdot 0,29 / \sin 5,768^0 = 18,466 \text{ м.}$$

Параметры первой пластины боковой пласти. Шаг ячеи $a_1 = 1600$ мм. Коэффициент раскрытия ячеи $u_1^{(1)} = \sin \varepsilon_1 = 0,29$. Угол раскрытия ячеи $\varepsilon_1 = \arcsin 0,29 = 16,86^0$.

Боковая канатная плась по ширине имеет 10 ячей. Так как она соединяется с двумя делевыми пластями, то на каждую делевую плась приходится по 5 ячей. На каждую канатную ячею с шагом 3,2 м приходится по две ячеи дели с шагом 1,6 м. На пять ячей канатной мотни приходится $n_{B_{11}}^{(-)} = 10$ ячей дели. В шворочный шов будем забирать по $n_{зш} = 5$ яч дели с каждой боковой кромки. Общее число ячей по верхней кромке первой пластины $n_{B_{11}} = n_{B_{11}}^{(-)} + 2n_{зш} = 10 + 2 \cdot 5 = 10 + 10 = 20$ яч.

Ширина в жгуте верхней кромки пластины с учетом ячей, забираемых в шворочный шов, $b_{11} = 2a_1 n_{B11} = 2 \cdot 1,6 \cdot 20 = 64$ м.

Принимаем цикл кройки боковых кромок первой пластины $Ц_K^{(1)} = \frac{\Pi}{K} = \frac{1}{0}$. Число ячей по длине пластины берем таким же, как и для первой пластины верхней пласти $n_{L1} = 6$ яч. Число ячей по нижней кромке пластины без учета ячей, забираемых в шворочный шов, $n_{B21}^{(-)} = n_{B11}^{(-)} = 10$ яч.

Число ячей по нижней кромке пластины с учетом ячей, забираемых в шворочный шов, $n_{B21} = n_{B21}^{(-)} + 2n_{зш} = 10 + 2 \cdot 5 = 20$ яч.

Ширина в жгуте нижней кромки пластины с учетом ячей, забираемых в шворочный шов, $b_{21} = 2a_1 n_{B21} = 2 \cdot 1,6 \cdot 20 = 64$ м.

Длина пластины в жгуте

$$L_1 = 2an_{L1} = 2 \cdot 1,6 \cdot 6 = 19,2 \text{ м.}$$

Длина пластины в посадке

$$L_1^n = L_1 \cos \varepsilon_1 = 19,2 \cos 16,86^0 = 18,375 \text{ м.}$$

Параметры всех остальных пластин верхней и боковых пластей, начиная со второй, одинаковы.

Параметры второй пластины. Шаг ячеей $a_2 = 800$ мм. Коэффициент раскрытия ячеей $u_1^{(2)} = \sin \varepsilon_2 = 0,3$. Угол раскрытия ячеей $\varepsilon_2 = \arcsin 0,3 = 17,46^0$. Угол атаки делевой мотни $\alpha_N^{(2)} = 9^0$.

Цикл съязычки первой и второй пластин $a_2 / a_1 = 800 / 1600 = 1/2$.

Число ячей по верхней кромке пластины без учета ячей, забираемых в шворочный шов, $n_{B12}^{(-)} = 2n_{B21}^{(-)} = 2 \cdot 10 = 20$ яч.

В шворочный шов забираем по 5 ячеей с каждой боковой кромки. Число ячеей по верхней кромке второй пластины $n_{B12} = n_{B12}^{(-)} + 2n_{зш} = 20 + 2 \cdot 5 = 30$ яч.

Ширина в жгуте верхней кромки пластины с учетом ячеей, забираемых в шворочный шов, $b_{12} = 2a_2 n_{B12} = 2 \cdot 0,8 \cdot 30 = 48$ м.

Размеры делевых пластин всех пластей (верхних и боковых), начиная со второй пластины, будем брать одинаковыми.

Используя формулу (3), находим цикл кройки боковых кромок пластины:

$$Ц_K^{(2)} = \frac{(tg \varepsilon_2 - tg(\pi \sin \alpha_N^{(2)} / n_p))}{2tg(\pi \sin \alpha_N^{(2)} / n_p)} = \frac{tg 17,46^0 - tg(\pi \sin 9^0 / 8)}{2tg(\pi \sin 9^0 / 8)} = 2,05.$$

Принимаем $Ц_K^{(2)} = \frac{2}{1}$. Минимальное число ячеей по длине пластины при этом цикле кройки равно $n_L^{\min} = \Pi + 0,5K = 2 + 0,5 \cdot 1 = 2,5$.

Принимаем число циклов реза $n_{ур}^{(2)} = 4$. Число ячеей по длине второй пластины $n_{L2} = n_{ур}^2 n_L^{\min} = 4 \times 2,5 = 10$ яч. Определяем число ячеей по нижней кромке пластины без учета ячеей, забираемых в шворочный шов, $n_{B22}^{(-)} = n_{B12}^{(-)} - 2n_{L2} / (1 + 2Ц_K^{(2)}) = 20 - 2 \cdot 10 / (1 + 2 \cdot \frac{2}{1}) = 16$ яч.

Число ячеек по нижней кромке пластины с учетом ячеек, забираемых в шворочный шов,

$$n_{B22} = n_{B22}^{(-)} + 2n_{зш} = 16 + 2 \cdot 5 = 26 \text{ яч.}$$

Ширина в жгуте нижней кромки пластины с учетом ячеек, забираемых в шов,

$$b_{22} = 2a_2 n_{B22} = 2 \cdot 0,8 \cdot 26 = 41,6 \text{ м.}$$

Длина пластины в жгуте

$$L_2 = 2an_{L2} = 2 \cdot 0,8 \cdot 10 = 16 \text{ м.}$$

Длина пластины в посадке

$$L_2^n = L_2 \cos \varepsilon_2 = 16 \cos 17,46^0 = 15,26 \text{ м.}$$

Угол ν_2 между боковой кромкой пластины и ее осью симметрии

$$\operatorname{tg} \nu_2 = \operatorname{tg} \varepsilon_2 / \left(1 + 2C_K^{(2)}\right) = \operatorname{tg} 17,46^0 / \left(1 + 2 \cdot \frac{2}{1}\right) = 0,0629,$$

$$\nu_2 = 3,6^0.$$

Длина режущей кромки в посадке

$$l_2 = n_{\text{уп}}^{(2)} a \sin \varepsilon_2 / \sin \nu_2 = 4 \cdot 0,8 \cdot 0,3 / \sin 3,6^0 = 15,29 \text{ м.}$$

Расчет параметров третьей, четверной, пятой и шестой пластин опускаем. Их характеристики показаны на рис. 6.

Параметры седьмой пластины. Шаг ячей $a_7 = 60$ мм. Коэффициент раскрытия ячей $u_1 = \sin \varepsilon = 0,3$. Угол раскрытия ячей $\varepsilon = 17,46^0$. Угол атаки дельевой мотни $\alpha_N^{(7)} = 5^0$. Цикл съячейки шестой и седьмой пластин $a_7 / a_6 = 60 / 80 = 3 / 4$. Число ячеек по верхней кромке пластины без учета ячеек, забираемых в шворочный шов,

$$n_{B17}^{(-)} = (4/3)n_{B26}^{(-)} = 4 \cdot 42 / 3 = 56 \text{ яч.}$$

В шворочный шов забираем по $n_{зш} = 10$ яч. с каждой боковой кромки. Число ячеек по верхней кромке второй пластины

$$n_{B17} = n_{B17}^{(-)} + 2n_{зш} = 56 + 2 \cdot 10 = 76 \text{ яч.}$$

Ширина в жгуте верхней кромки пластины с учетом ячеек, забираемых в шов,

$$b_{17} = 2a_7 n_{B17} = 2 \cdot 0,06 \cdot 76 = 9,12 \text{ м.}$$

Находим цикл кройки боковых кромок пластины:

$$C_K^{(7)} = \frac{(\operatorname{tg} \varepsilon - \operatorname{tg}(\pi \sin \alpha_N^{(7)} / n_p))}{2 \operatorname{tg}(\pi \sin \alpha_N^{(7)} / n_p)} = \frac{\operatorname{tg} 17,46^0 - \operatorname{tg}(\pi \sin 4^0 / 8)}{2 \operatorname{tg}(\pi \sin 4^0 / 8)} = 5,1.$$

Принимаем $C_K^{(7)} = \frac{5}{1}$. Число ячеек по длине седьмой пластины $n_{L7} = 24 \times 5,5 = 132 \text{ яч.}$

Определяем число ячеек по нижней кромке пластины без учета ячеек, забираемых в шворочный шов,

$$n_{B27}^{(-)} = n_{B17}^{(-)} - 2n_{L7} / \left(1 + 2C_K^{(7)}\right) = 56 - 2 \cdot 132 / \left(1 + 2 \cdot \frac{5}{1}\right) = 32 \text{ яч.}$$

Число ячеек по нижней кромке пластины с учетом ячеек, забираемых в шворочный шов,

$$n_{B27} = n_{B27}^{(-)} + 2n_{зш} = 32 + 2 \cdot 10 = 52 \text{ яч.}$$

Ширина в жгуте нижней кромки пластины с учетом ячеек, забираемых в шов,

$$b_{27} = 2a_7 n_{B27} = 2 \cdot 0,06 \cdot 52 = 6,24 \text{ м.}$$

Длина пластины в жгуте

$$L_7 = 2a_7n_{L7} = 2 \cdot 0,06 \cdot 132 = 15,84 \text{ м.}$$

Длина пластины в посадке

$$L_7^n = L_7 \cos \varepsilon_7 = 15,84 \cos 17,46^0 = 15,11 \text{ м.}$$

Угол ν_7 между боковой кромкой пластины и ее осью симметрии

$$\operatorname{tg} \nu_7 = \operatorname{tg} \varepsilon_7 / \left(1 + 2C_K^{(7)}\right) = \operatorname{tg} 17,46^0 / \left(1 + 2 \cdot \frac{5}{1}\right) = 0,028594.$$

Откуда $\nu_7 = 1,63786^0$.

Длина режущей кромки в посадке

$$l_7 = n_{\text{уп}}^{(7)} a_7 \sin \varepsilon_7 / \sin \nu_7 = 24 \cdot 0,06 \cdot 0,3 / \sin 1,63786^0 = 15,114 \text{ м.}$$

Из вышеперечисленных расчетов следует, что длина режущей кромки слабо отличается от длины пластины в посадке.

Полная длина режущих кромок всех пластин (длина топенанта) равна

$$l_T = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 = 18,466 + 15,29 + 15,29 + 16,04 + 13,367 + 15,804 + 15,114 = 109,371 \text{ м.}$$

Количество ячей в конечном сечении мотни

$$n_{\text{я}} = 8n_{27}^{(-)} = 8 \cdot 32 = 256 \text{ яч.}$$

Диаметр конечного сечения мотни трала в посадке

$$D_K = 2a_7n_{\text{я}}u_1 / \pi = 2 \cdot 0,06 \cdot 256 \cdot 0,3 / 3,14 = 2,93 \text{ м.}$$

Делевая часть трала показана на рис. 6.

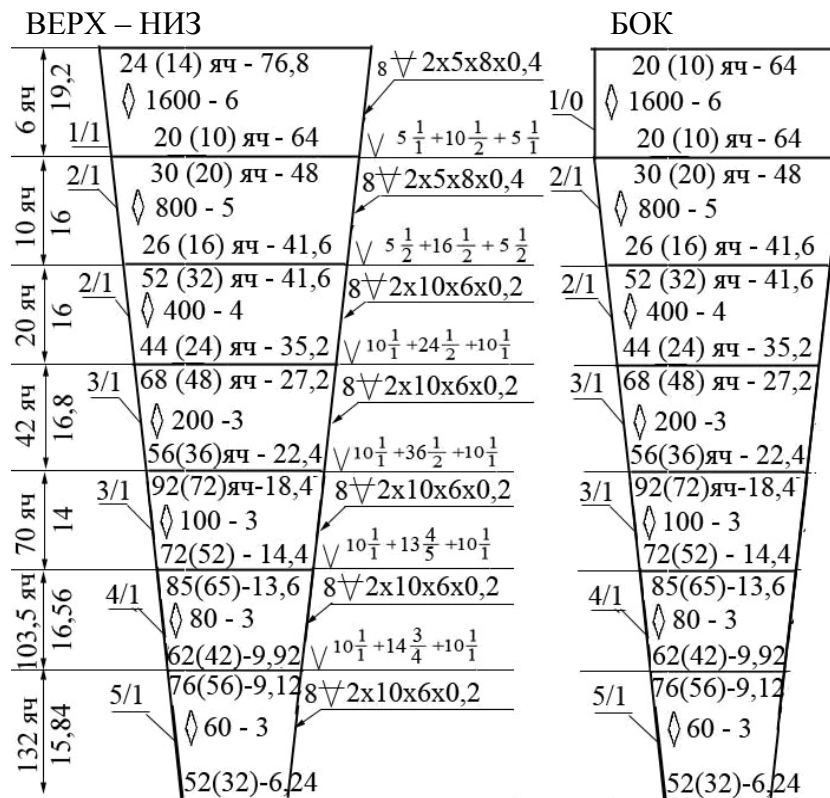


Рис. 6. Делевая часть трала 132/1152 м

Fig. 6. Net part of trawl 132/1152 m

Используя программу MS-Excel, по методике, изложенной в [11], найдены следующие параметры трала 132/1152 м:

- масса передней части трала $M = 1606$ кг;
- затененная площадь передней части трала с учетом ячей, забираемых в шворочный шов, $S_H = 469$ м²;
- затененная площадь передней части трала без учета ячей, забираемых в шворочный шов, $S_H^{(-)} = 356$ м²;
- фиктивная площадь передней части трала без учета ячей, забираемых в шворочный шов, $S_\Phi^{(-)} = 98700$ м²;
- фиктивная площадь передней части трала с учетом ячей, забираемых в шворочный шов, $S_\Phi = 111\,240$ м²;
- коэффициент сопротивления трала $C_X^{CO} = 0,18$;
- сопротивление сетной оболочки трала при скорости 4,0 уз равно 142 кН.

В районе обитания командорского кальмара в зоне Курильских о-вов сильные течения, поэтому использование обычных досок как российского, так и иностранного производства затруднительно, так как они заваливаются на сильном течении. Поэтому мы рекомендуем использовать доски конструкции В.А. Кузика, специально сконструированные для лова командорского кальмара. Доска Кузика является прямоугольно-цилиндрической доской с предкрылком. Причем она сконструирована так, что ее центр масс сдвинут назад от оси симметрии на 0,1 м, что предотвращает ее заваливание на сильных течениях. Площадь доски в плане $S = 7,2$ м², ее масса $M = 3020$ кг. Доска показана на рис. 7.

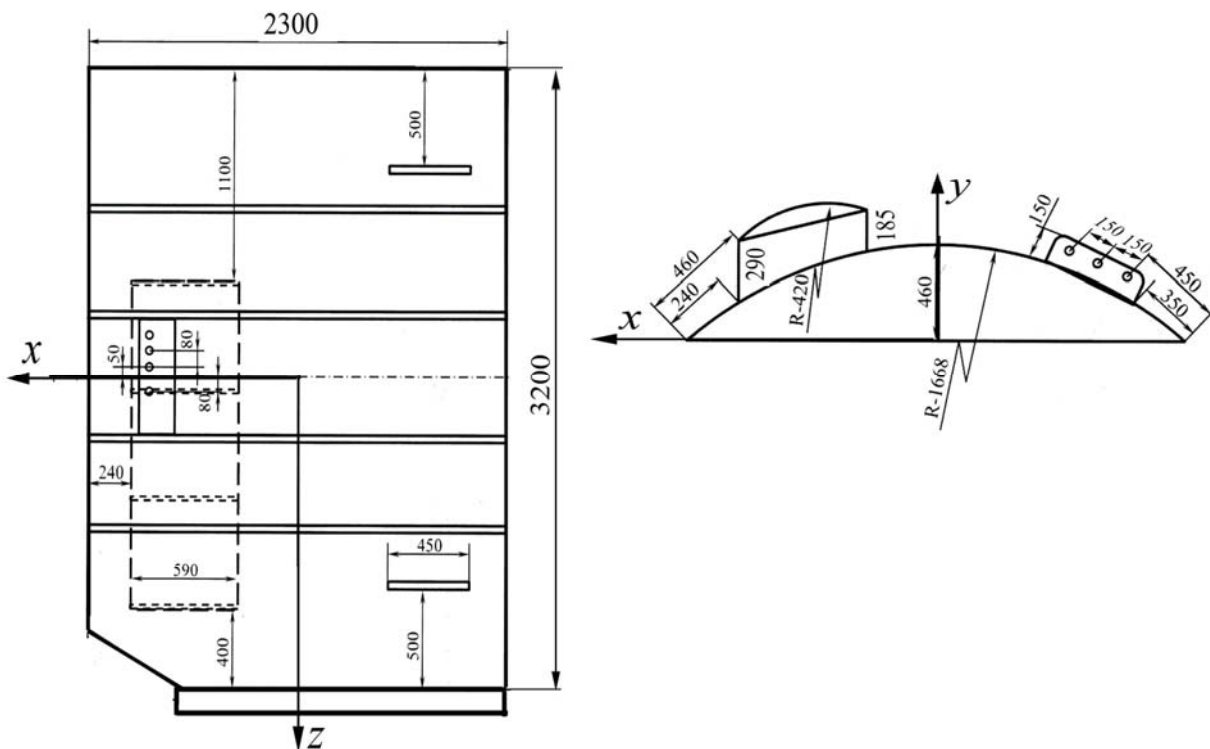


Рис. 7. Таловая доска В.А. Кузика
Fig. 7. The trawl door V.A. Kuzika

Для устранения порывов пелагических (разноглубинных) тралов при тралении у дна необходимы дополнительные конструктивные мероприятия. Эти мероприятия заключаются в том, что нижняя подбора оснащается специальным способом, позволяя вести траления с деформацией вертикального размера устья до 20 %, при этом пелагический трал превращается в донно-пелагический. Один из вариантов оснастки нижней подборы донно-пелагических тралов показан на рис. 8. В этом варианте используется фальшподбора из тяжелой якорной цепи калибром 30 мм и длиной 54 м. При задеве этой цепи за скалу она должна разрываться. Поэтому ее изготавливают из двух отрезков, каждый по 27 м, соединенных между собой гужиком из стального каната диаметром 9,7 мм.

Так как тралы работают в районах с сильным течением, то оснастка их верхней подборы щитком неприемлема. Поэтому верхняя подбора оснащается кухтылями. Общая подъемная сила оснастки верхней подборы равна 3000 Н.

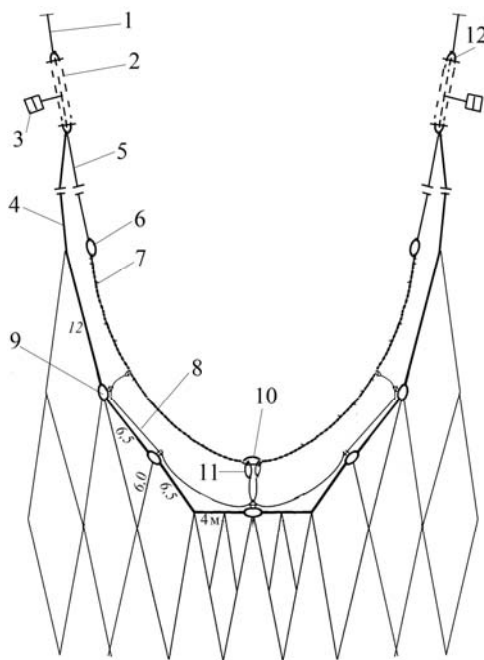


Рис. 8. Оснастка нижней подборы донно-пелагического трала 132/1152 м для лова командорского кальмара:

- 1 – голый конец нижней подборы; 2 – якорная цепь;
- 3 – сосредоточенный груз; 4 – нижняя подбора; 5 – голый конец фальшподборы; 6 – гужик (ст. канат $d = 16,5$ мм);
- 7 – фальшподбора; 8 – поводец (стальной канат $d = 9,7$ мм, $l = 15$ м); 9 – двухзвенка; 10 – гужик (стальной канат $d = 9,7$ мм); 11 – звено цепи; 12 – скоба

Fig. 8. The rigging of footrope bottom-pelagic trawl 132/1152 m for catch commander squid: 1 – footrope leg; 2 – anchor chain; 3 – concentrated weight; 4 – footrope; 5 – falsrope leg; 6 – wirerope $d = 16,5$ mm; 7 – falsrope; 8 – wirerope $d = 9,7$ mm, $l = 15$ m; 9 – twolinks; 10 – catching-up rope (wirerope $d = 9,7$ mm); 11 – link of chain; 12 – shackle

Заключение

Приведенные математические соотношения геометрии сетных пластин и сетных конических оболочек с ромбической ячейей позволяют на этапе проектирования аналитически определять параметры разноглубинных тралов: размеры устья, длины канатных элементов, размеры сетных пластин и циклы кройки их боковых кромок, гидродинамическое сопротивление трала.

На примере проектирования трала для лова командорского кальмара показано, как приведенный аналитический аппарат используется на практике.

Список литературы

1. Андреев Н.Н. Проектирование кошельковых неводов. – М.: Пищ. пром-сть, 1970. – 278 с.
2. Розенштейн М.М. Проектирование орудий рыболовства. – Калининград: КГТУ, 2003. – 367 с.
3. Габрюк В.И., Чернецов В.В., Бойцов А.Н. Проектирование ярусных, ловушечных и траловых рыболовных систем. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2010. – 412 с.

4. Коротков В.К. Морфология и гидромеханика схематизированных и натуральных тралов. – Калининград: КГТУ, 2008. – 172 с.
5. Коротков В.К. Реакция рыб на трал, технология их лова. – Калининград: ЭКБ АО «МариНПО», 1998. – 398 с.
6. Осипов Е.В. Совершенствование методов расчета конструкций ставных неводов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. – С. 217-221.
7. Раков А.И., Севастьянов Н.Б. Проектирование промысловых судов. – Л.: Судостроение, 1981. – 372 с.
8. Евгеньев Г.Б. Интеллектуальные системы проектирования. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 410 с.
9. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 430 с.
10. Габрюк В.И. Основные соотношения геометрии сетных оболочек разноглубинных тралов // Рыб. хоз-во. – 2012. – № 3. – С. 70-75.
11. Габрюк В.И. Моделирование орудий и процессов рыболовства. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2012. – 175 с.
12. Кручинин О.Н. Тактика замета кошелькового невода и способы управления поведением рыб в зоне облова. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2006. – 127 с.
13. Мельников В.Н. Биотехническое обоснование показателей орудий и способов промышленного рыболовства. – М.: Пищ. пром-сть, 1979. – 376 с.
14. Недоступ А.А. Метод расчета силовых и геометрических характеристик плавных сетей. Физическое моделирование плавных сетей // Изв. ТИНРО. – 2008. – Т. 154. – С. 280-294.
15. Никоноров И.В. Взаимодействие орудий лова со скоплением рыб. – М.: Пищ. пром-сть, 1973. – 236 с.
16. Трещев А.И. Теоретические основы лова рыбы разноглубинным тралом // Тр. ВНИРО. – 1959. – Т. 41. – С. 24-33.
17. Шевченко А.И. Пути повышения селективности промысла минтая. – Владивосток: ТИНРО, 2004. – 98 с.

Сведения об авторах: Габрюк Виктор Иванович, профессор, доктор технических наук, e-mail: gabrukvi@rambler.ru;
Мазур Евгений Евгеньевич, аспирант.