

---

---

# 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, уловистости 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 делевых 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  $2\delta$ , охватывающий один ряд продольных ромбических ячеей. Из этого рисунка следует:

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

Здесь  $n_{я}$  – количество ячеей в поперечных сечениях мотни;  $2v_N$  – угол между боковыми кромками развертки конуса;  $\alpha_N$  – 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  $\delta$ , 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:

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

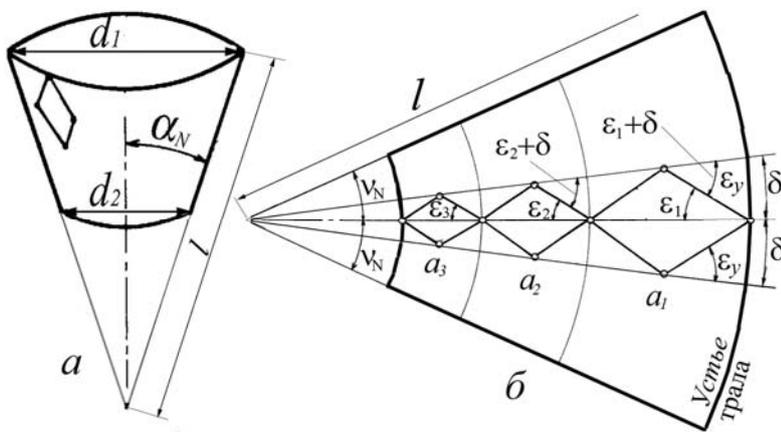


Рис. 1. а – параметры конической оболочки; б – ее развертки на плоскость – криволинейной трапеции  
Fig. 1. a – parameters of the cone-shaped shell; б – Its unrolling on plane – curvilinear trapezoid

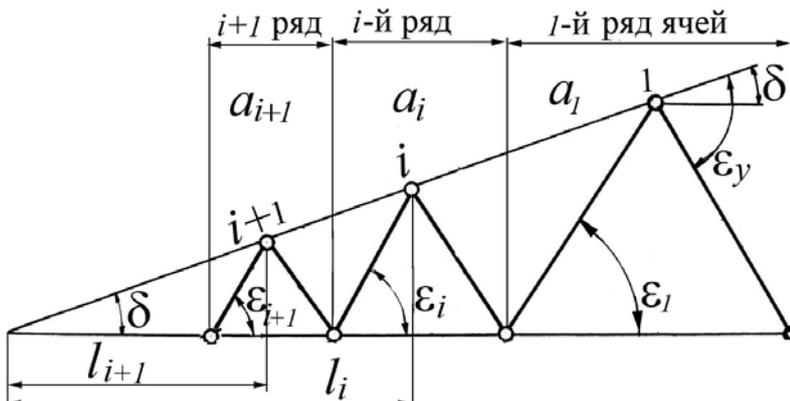


Рис. 2. Угол  $\delta$ , охватывающий продольный ряд половинок ромбических ячеей  
Fig. 2. Corner  $\delta$ , engulfing longitudinal row half rhombic meshes

Для тралов максимальное значение угла  $\delta$

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

При малых углах  $\delta$  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;  $\alpha_N^i$  – 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  $\varepsilon_y$  – 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

$\alpha_N$ , 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]

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

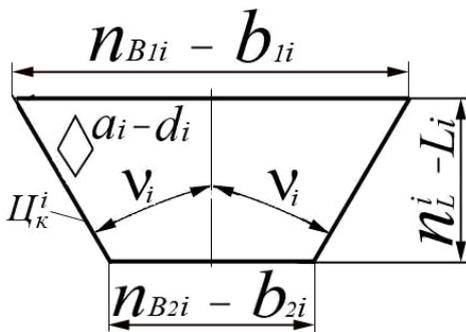


Рис. 3. Параметры  $i$ -й пластины  
Fig. 3. Parameters  $i$ -ouch plate

Параметры  $i$ -й пластины показаны на рис. 3.

Здесь  $a_i, d_i$  – шаг ячеек  $i$ -й пластины и диаметр ее нити;  $n_{B_{1i}}, n_{B_{2i}}, n_L^i$  – 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;  $n_{B_{1i}}^{(-)}, n_{B_{2i}}^{(-)}$  – 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 жгуте верхней/нижней кромок пластины без учета ячей, забираемых в шворочный шов;  $2\nu_i$  – угол между боковыми кромками пластины;  $\Pi_k^i$  – цикл кройки боковых кромок пластины.

Циклы кройки боковых кромок делевых пластин мотни определяются по формуле

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

Если все пласти делевой части трала одинаковы, то угол  $\nu_i$  определяется по формуле

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

где  $n_p$  – количество пластей делевой части трала;  $\alpha_N^i$  – 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

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

где  $\Pi, K$  – число узлов, срезаемых по прямой, и число ниток, срезаемых по косой.

Между числом ячей по верхней и нижней кромкам пластины в форме равнобочной 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  $\alpha_N$ ;
- количество ячей в поперечных сечениях канатной мотни  $n_я$ ;
- количество ячей по ширине верхней/боковой пластей канатной мотни  $n_я^{BП} / n_я^{БП}$ ;
- коэффициенты раскрытия ячей в начале/конце мотни  $u_1^H / u_1^K$ ;
- длины канатной/делевого 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	$B_y / H_y, м$	$L_{KM} / L_{DM}, м$	$l_1, м$	$n_я$	$n_я^{BП} / n_я^{БП}$	$u_1^H / u_1^K$
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 тяговоскоростными 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 подборы 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.

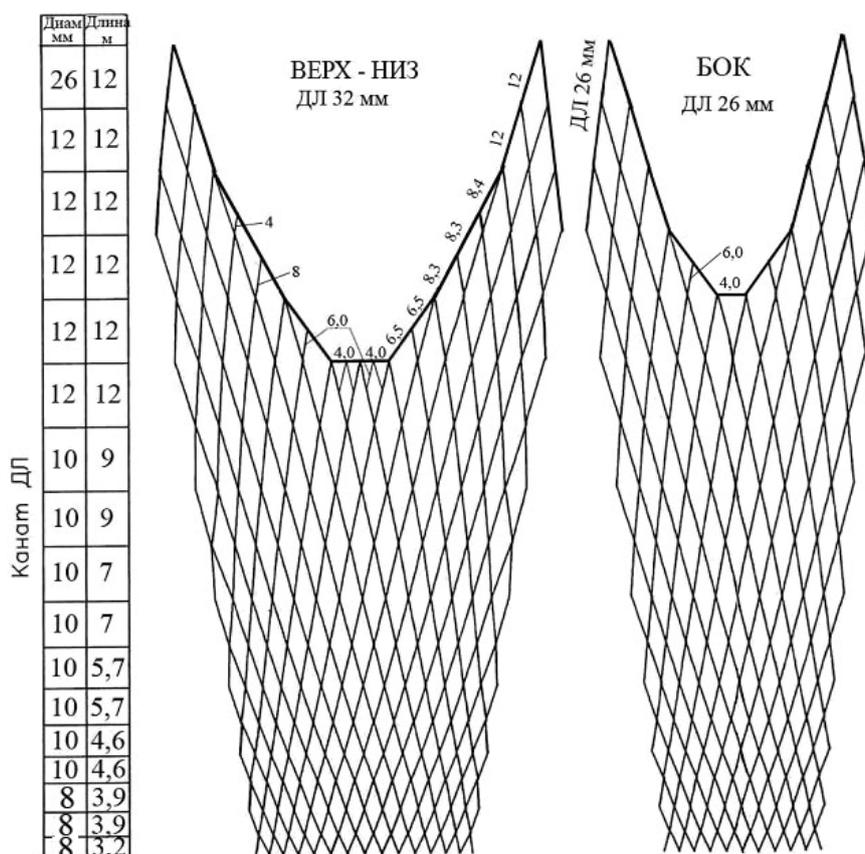


Рис. 4. Канатная часть трала 132/1152 м  
 Fig. 4. Rope part of trawl 132/1152 m



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  $\nu_1$  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  $\Pi_K^{(1)} = \frac{\Pi}{K} = \frac{1}{0}$ . 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,  $n_{B21} = n_{B21}^{(-)} + 2n_{\text{шв}} = 10 + 2 \cdot 5 = 20$  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 съячейки 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  $n_{B12} = n_{B12}^{(-)} + 2n_{\text{шв}} = 20 + 2 \cdot 5 = 30$  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:

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

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

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

$$n_{B_{22}} = n_{B_{22}}^{(-)} + 2n_{\text{ши}} = 16 + 2 \cdot 5 = 26 \text{ яч.}$$

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

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

Длина пластины в жгуте

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

Длина пластины в посадке

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

Угол  $\nu_2$  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

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

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,

$$n_{B_{17}}^{(-)} = (4/3)n_{B_{26}}^{(-)} = 4 \cdot 42 / 3 = 56 \text{ яч.}$$

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

$$n_{B_{17}} = n_{B_{17}}^{(-)} + 2n_{\text{ши}} = 56 + 2 \cdot 10 = 76 \text{ яч.}$$

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

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

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,

$$n_{B_{27}}^{(-)} = n_{B_{17}}^{(-)} - 2n_{L7} / \left(1 + 2C_K^{(7)}\right) = 56 - 2 \cdot 132 / \left(1 + 2 \cdot \frac{5}{1}\right) = 32 \text{ яч.}$$

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

$$n_{B_{27}} = n_{B_{27}}^{(-)} + 2n_{\text{ши}} = 32 + 2 \cdot 10 = 52 \text{ яч.}$$

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

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

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  $\nu_7$  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

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

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 ячеек в конечном сечении мотни

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

Диаметр конечного сечения мотни трала в посадке

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

Делевая часть трала показана на рис. 6.

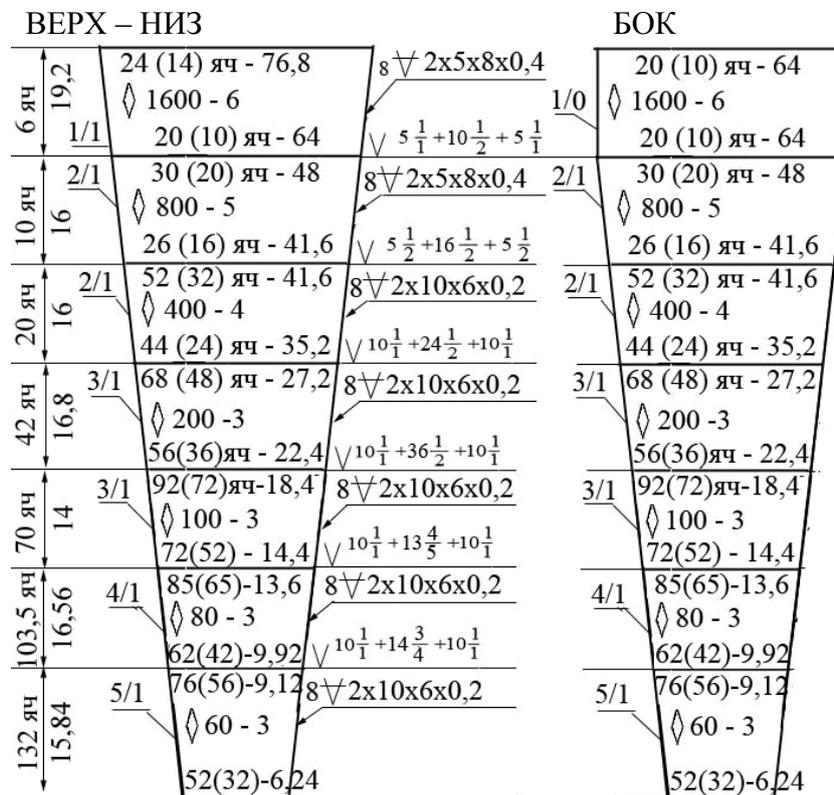


Рис. 6. Делевая часть трала 132/1152 м  
Fig. 6. Net part of trawl 132/1152 m

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,  $S_H = 469$  м<sup>2</sup>;
- затененная площадь передней части трала без учета ячей, забираемых в шворочный шов,  $S_H^{(-)} = 356$  м<sup>2</sup>;
- фиктивная площадь передней части трала без учета ячей, забираемых в шворочный шов,  $S_\Phi^{(-)} = 98700$  м<sup>2</sup>;
- фиктивная площадь передней части трала с учетом ячей, забираемых в шворочный шов,  $S_\Phi = 111\,240$  м<sup>2</sup>;
- 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  $S = 7,2$  м<sup>2</sup>, ее масса  $M = 3020$  кг. Доска показана на рис. 7.

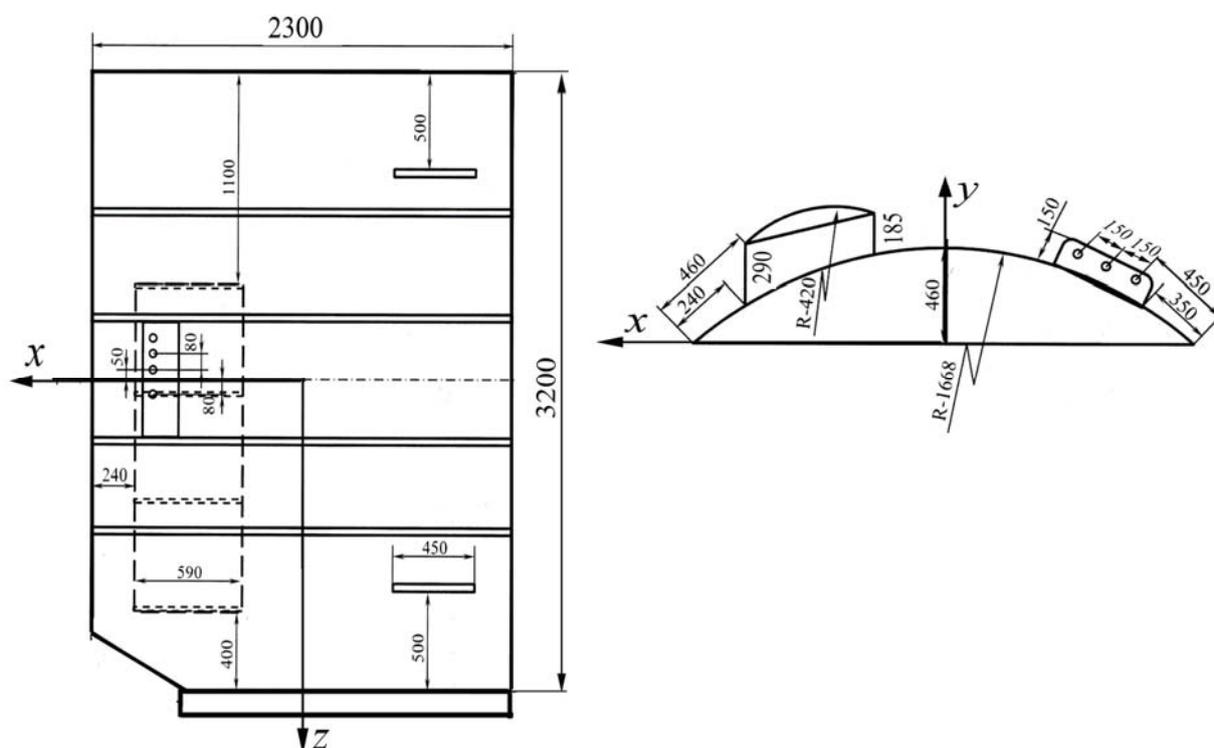


Рис. 7. Таловая доска В.А. Кузика  
Fig. 7. The trawl door V.A. Kuzika

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.

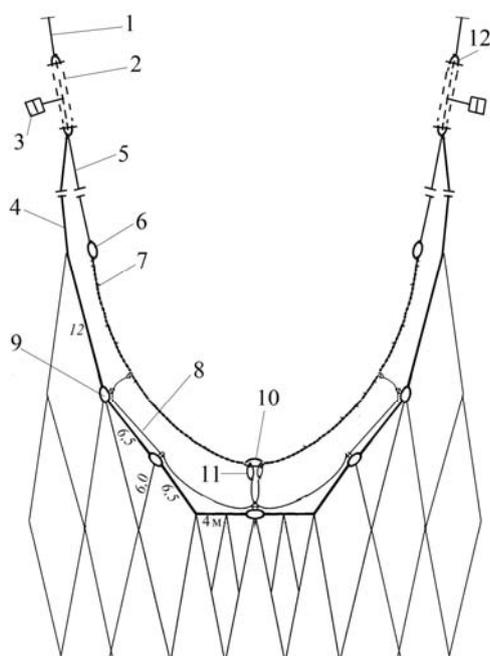


Рис. 8. Оснастка нижней подборы донно-пелагического трала 132/1152 м для лова командорского кальмара:

- 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.

УДК 639.2.081.001.4

**Л.А. Габрюк**  
**РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ КРЮЧКОВЫХ ЯРУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Дальневосточный федеральный университет,  
 690600, г. Владивосток, ул. Суханова, 8

*Приведены расчетные схемы и математические модели горизонтальных ярусов. Впервые приведена математическая модель дрейфующего пелагического яруса. Даны рекомендации по выбору схем расчета.*

**Ключевые слова:** канат, гибкая нить, стержень, расчетная схема, ярусная конструкция, хребтина яруса, моделирование, дрейфующий ярус.

**L.A. Gabruk**  
**SETTLING SCHEMES OF HOOK LOGLINE DESIGNS**

*In article settling schemes and mathematical models of horizontal longlines are resulted. For the first time the mathematical model drifting palagic of logline is resulted. Recommendations for choice calculation schemes are given.*

**Key words:** a rope, a flexible thread, a core, the settling scheme, a design of logline, a manline of logline, the modelling, a drifting of logline.

**Введение**

При выборе расчетных схем и обосновании математических моделей инженерных конструкций выделяются такие элементы, как стержни, канаты, оболочки, пластины, балки. Гибкий канат является самой простым элементом ярусных конструкций (рис. 1, 2). Современные ярусные конструкции нашли применение в крючковых рыболовных системах, висячих мостах, вантовых системах, линиях электропередач, канатных дорогах, стрелочных кранах, конструкциях подводных плантаций для выращивания марикультуры, в глубинных гидрографических устройствах, различных судовых тросовых системах для удержания объектов на плаву, разнообразных антенных сооружениях. Несущим элементом ярусных конструкций является пространственно-криволинейный канат.

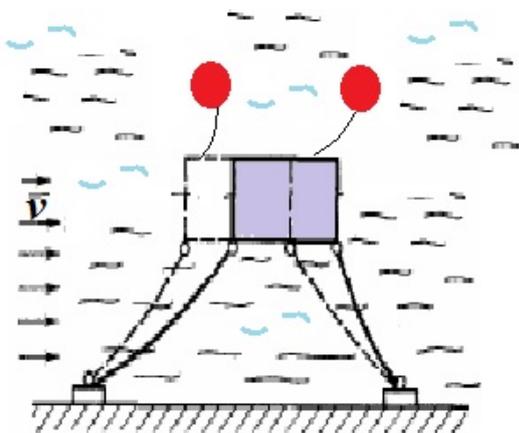


Рис. 1. Ярусная система удержания подводных объектов  
 Fig. 1. System of longline of deduction of underwater objects

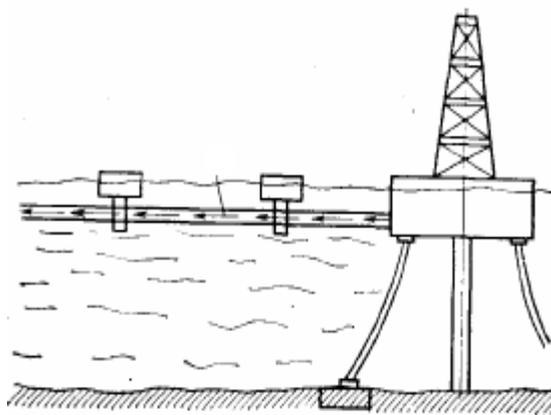


Рис. 2. Ярусная система перекачки жидкости  
 Fig. 2. System of longline of swapping of a liquid

### Материалы и методы

Много теоретически интересных и практически важных задач статики и динамики канатов ярусов возникает при исследовании взаимодействия каната с потоком воздуха или жидкости. Учет сил взаимодействия с внешним потоком приводит к более сложным задачам по сравнению с традиционными [1]. Основная трудность при решении этих задач заключается в сложности получить информацию о силах, действующих на находящиеся в потоке канаты. Это вызвано тем, что канаты, находящиеся в потоке, сильно отклоняются от первоначальной равновесной формы. Кроме того, на угол между касательной к осевой линии каната и вектором скорости потока влияют гидродинамические силы.

Разработка ярусных систем, удовлетворяющих современным требованиям, невозможна без использования математических моделей этих систем, учитывающих пространственную сложность, геометрическую нелинейность, материал и специфику их эксплуатации. Так как экспериментальные исследования ярусных систем в условиях моря часто невозможны, поэтому аналитические методы их исследования являются наиболее эффективными и экономически целесообразными. Сегодня имеется большой опыт по описанию моделей гибких канатов. Современные математические модели каната, в основном – это решение задачи на равновесие каната в воздухе в виде уравнения цепной линии (интегралов Лейбница-Бернулли-Гюйгенса, 1691 г.).

Исследование реального объекта следует начинать с выбора расчетной схемы [2]. Приступая к расчету проектируемой конструкции, обоснованию ее расчетной схемы и выбору соответствующей ей математической модели, следует провести формализацию объекта и отбросить несущественные факторы, которые не оказывают особого влияния на суть задачи.

Разработке математических моделей ярусных рыболовных систем посвящены работы [3-11]. Элементами ярусов являются канаты, буи, грузы, якоря.

### Результаты и их обсуждение

Векторное уравнение равновесия гибкого каната [3]

$$d(T\vec{\tau})/dl + \vec{G} + \vec{A} + \vec{r} = d(T\vec{\tau})/dl + \vec{q} + \vec{r} = \vec{0} \quad (1)$$

является основополагающим для моделирования каната в потоке. Здесь  $l$  – дуговая координата текущей точки каната;  $T$  – натяжение нити в текущей точке  $l$ ;  $\vec{\tau}$  – орт-касательная к оси каната, направленный в сторону роста дуговых координат;  $\vec{r}$  – гидродинамическая сила, приходящаяся на 1 м каната;  $\vec{q} = \vec{G} + \vec{A}$  – вес 1 м каната в воде;  $\vec{G}$  – вес 1 м каната в воздухе;  $\vec{A}$  – архимедова выталкивающая сила.

Уравнение (1) получено при следующих допущениях:

- поперечные сечения каната не деформируются;
- размеры сечения каната считаются малыми по сравнению с длиной каната;
- длина каната не изменяется под нагрузкой;
- в поперечных сечениях каната не возникает поперечных сил, изгибающих и крутящихся моментов;
- различные статически эквивалентные нагрузки вызывают в канате одно и то же натяжение (принцип Сен-Венана) [1].

В [8] получена общая трехмерная математическая модель канатов, устанавливаемых под углом  $\gamma$  к течению (потоку).

Система дифференциальных уравнений для нахождения формы и натяжения хребтины яруса в потоке, когда она располагается под углом к течению и угол  $\gamma$  меняется, имеет вид

$$\begin{aligned}
 \dot{T} &= q_Z \sin \alpha \cos \varphi - r_{XV} \cos \alpha + r_{ZV} \sin \alpha; \\
 \dot{\alpha} &= (q_Z \cos \alpha \cos \varphi + r_{XV} \sin \alpha + r_{ZV} \cos \alpha - T \sin \varphi \dot{\gamma}) / T; \\
 \dot{\varphi} &= -(q_Z \sin \varphi + r_{YV} + T \cos \alpha \cos \varphi \dot{\gamma}) / T \sin \alpha; \\
 \dot{x} &= (\cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \cdot \sin \varphi \sin \gamma); \\
 \dot{y} &= (\cos \alpha \sin \gamma + \sin \alpha \cdot \cos \gamma \sin \varphi); \\
 \dot{z} &= -\sin \alpha \cos \varphi; \\
 \dot{\gamma} &= \frac{d\gamma}{dl} = \frac{d\gamma}{dz} \frac{dz}{dl} = \frac{d\gamma}{dz} \dot{z} = -\frac{d\gamma}{dz} \sin \alpha \cos \varphi, \\
 r_{XV} &= C_{XV} (0,5\rho V^2) d^{xp}, \quad (x_V, y_V, z_V),
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где  $\vec{T}$  – натяжение каната;  $\alpha$  – угол атаки каната;  $\varphi$  – угол крена каната;  $\gamma$  – угол между осью  $x$  и вектором скорости течения  $\vec{V}$ ;  $\dot{\gamma}$  – скорость изменения угла  $\gamma$ ;  $r_{XV}, r_{YV}, r_{ZV}$  – проекции гидродинамической силы каната на оси поточной системы координат, приходящиеся на единицу его длины;  $x, y, z$  – координаты;  $C_{XV}, C_{YV}, C_{ZV}$  – гидродинамические коэффициенты сил сопротивления, подъемной (заглубляющей) и боковой зависят от материала каната, угла атаки, числа Рейнольдса, относительного удлинения каната.

Если скорость течения постоянна  $\vec{V} = \vec{const}$ , т.е. не меняется по глубине  $h$ , то  $\gamma = const$ ,  $\dot{\gamma} = 0$ , в этом случае система (2) принимает вид

$$\begin{aligned}
 \dot{T} &= q_Z \sin \alpha \cos \varphi - r_{XV} \cos \alpha + r_{ZV} \sin \alpha; \\
 \dot{\alpha} &= (q_Z \cos \alpha \cos \varphi + r_{XV} \sin \alpha + r_{ZV} \cos \alpha) / T; \\
 \dot{\varphi} &= -(q_Z \sin \varphi + r_{YV}) / T \sin \alpha; \\
 \dot{x} &= (\cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \cdot \sin \varphi \sin \gamma); \\
 \dot{y} &= (\cos \alpha \sin \gamma + \sin \alpha \cdot \cos \gamma \sin \varphi); \\
 \dot{z} &= -\sin \alpha \cos \varphi.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Если вектор скорости течения  $\vec{v}$  находится в плоскости горизонта и канат выметывается параллельно течению, то ось  $x$  направляют по оси  $x_V$ . В этом случае  $\gamma = 0$  и система уравнений (3) принимает вид [3]

$$\begin{aligned}
 \dot{T} &= q_Z \sin \alpha \cos \varphi - r_{XV} \cos \alpha + r_{ZV} \sin \alpha; \\
 \dot{\alpha} &= (q_Z \cos \alpha \cos \varphi + r_{XV} \sin \alpha + r_{ZV} \cos \alpha) / T; \\
 \dot{\varphi} &= -(q_Z \sin \varphi + r_{YV}) / T \sin \alpha; \\
 \dot{x} &= \cos \alpha; \\
 \dot{y} &= \sin \alpha \cdot \sin \varphi; \\
 \dot{z} &= -\sin \alpha \cos \varphi.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

На рис. 3 рассматривается случай, когда вектор скорости течения  $\vec{v}$  находится в плоскости горизонта. Здесь ось  $x$  направлена по хорде хребтины и образует угол  $\gamma$  с осью  $x_V$ . Ось  $x_V$  направлена против потока; ось  $z_V \perp \vec{v}$  и лежит в плоскости потока, т.е. ( $z_V \in (\vec{v})$ ).

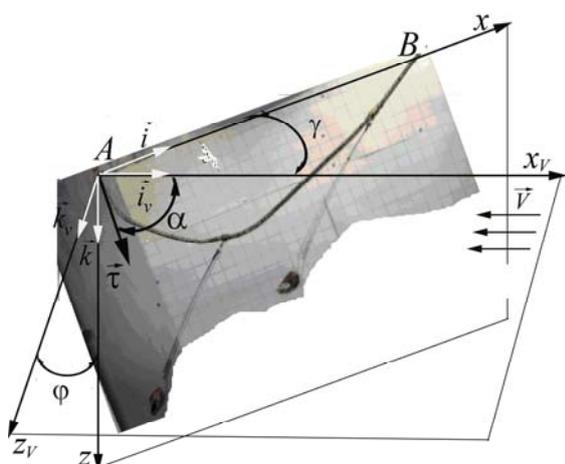


Рис. 3. Хребтина яруса, установленная под углом к потоку  
Fig. 3. A mainline of longline installed under a corner to a stream

В этом случае положение поточной системы (ПСК) относительно земной (ЗСК) определяется двумя углами  $\gamma, \varphi$ . Здесь  $\gamma$  – угол между осями  $x$  и  $x_V$ ;  $\varphi$  – угол между осями  $z$  и  $z_V$ . Угол  $\varphi$  называется углом крена плоскости потока каната.

Вектор  $\vec{\tau}$  лежит в плоскости потока  $x_V z_V$ . Его ориентация относительно ПСК однозначно определяется углом  $\alpha$  между касательной к оси каната и осью  $x_V$ .

Из равенства

$$\vec{r} = (r_{XV}, r_{YV}, r_{ZV}) \begin{pmatrix} \vec{i}_V \\ \vec{j}_V \\ \vec{k}_V \end{pmatrix} = (r_X, r_Y, r_Z) \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\cos \varphi \sin \gamma; & \sin \varphi \sin \gamma; \\ \sin \gamma; & \cos \gamma \cos \varphi; & -\cos \gamma \sin \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{i}_V \\ \vec{j}_V \\ \vec{k}_V \end{pmatrix}$$

определяется связь между проекциями гидродинамической силы в ПСК и ЗСК:

$$r_{XV} = r_X \cos \gamma + r_Y \sin \gamma;$$

$$r_{YV} = -r_X \cos \varphi \sin \gamma + r_Y \cos \gamma \cos \varphi + r_Z \sin \varphi ;$$

$$r_{ZV} = r_X \sin \varphi \sin \gamma - r_Y \cos \gamma \sin \varphi + r_Z \cos \varphi .$$

Системы дифференциальных уравнений (2-4) – это математическая модель каната в потоке.

Конструкция дрейфующего яруса приведена на рис. 4. Канатными элементами яруса являются хребтина, буйлины, якорный линь, вожак, крючковые поводцы. На рис. 4 хребтина задана отрезками  $A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3$ ; буйлины – отрезками  $A_1C_1, A_2C_2, A_3C_3$ ;  $AO$  – вожак. Несущей конструкцией яруса является хребтина.

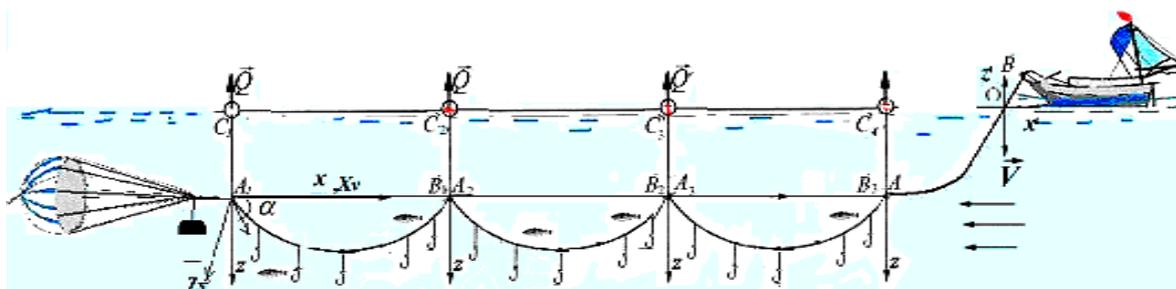


Рис. 4. Дрейфующий пелагический ярус  
Fig. 4. Drifting pelagic logline

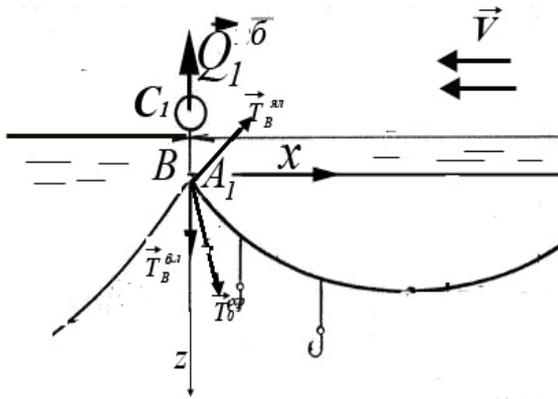


Рис. 5. Силы, действующие на узел B  
 Fig. 5. The forces acting on unit B

При расчете хребтины первого участка яруса необходимо выполнить условие стыковки трех элементов яруса: якорного линия (линия плавающего якоря), буйлиния и первого участка хребтины яруса (рис. 5), векторное уравнение равновесия узла B имеет вид [6]

$$\vec{T}_0^{xp} + \vec{T}_B^{yl} + \vec{T}_B^{bl} = \vec{0}.$$

Проецируя это уравнение на оси ЗСК x, y, z, получим:

$$\begin{aligned} T_{0X}^{xp} &= T_0^{xp} \cos \alpha_0^{xp} = \\ &= T_B^{yl} \cos \alpha_B^{yl} + T_B^{bl} \cos \alpha_B^{bl}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{0Y}^{xp} &= T_0 \sin \alpha_0^{xp} \sin \varphi_0^{xp} = T_B^{yl} \sin \alpha_B^{yl} \sin \varphi_B^{yl} + T_B^{bl} \sin \alpha_B^{bl} \sin \varphi_B^{bl}; \\ T_{0Z}^{xp} &= -T_0 \sin \alpha_0^{xp} \varphi_0^{xp} = -\left( T_B^{yl} \sin \alpha_B^{yl} \cos \varphi_B^{yl} + T_B^{bl} \sin \alpha_B^{bl} \cos \varphi_B^{bl} \right) \end{aligned}$$

Откуда следует

$$\begin{aligned} T_0^{xp} &= \sqrt{(T_{0X}^{xp})^2 + (T_{0Y}^{xp})^2 + (T_{0Z}^{xp})^2} \quad (5) \\ \operatorname{tg} \varphi_0^{xp} &= -T_{0Y}^{xp} / T_{0Z}^{xp}; \operatorname{tg} \beta_0^{xp} = -T_{0X}^{xp} / (T_{0Z}^{xp} \cos \varphi_0^{xp}); \beta_0^{xp} < 0; \alpha_0^{xp} = 2\pi + \beta_0^{xp}, \end{aligned}$$

где  $T_{0X}^{xp}, T_{0Y}^{xp}; T_{0Z}^{xp}$  – проекции на оси x, y, z натяжения хребтины в точке  $A_1$ ;  $T_B^{yl}, T_B^{bl}$  – натяжения якорного линия и буйлиния в точке B;  $\alpha_B^{yl}, \varphi_B^{yl}, \alpha_B^{bl}, \varphi_B^{bl}$  – углы атаки и крена плоскости потока якорного линия и буйлиния в точке B;  $h, h^{yl}, h^{bl}, h_{p1}, h_{p2}$  – соответственно глубина моря, высота якорного линия, высота буйлиния, глубина верхней и нижней кромки стаи рыбы.

При расчете характеристик хребтин рыболовных ярусов необходимо учитывать действие крючковых поводцов на хребтину. В модели действие поводцов на хребтину заменяется равномерно распределенной по длине хребтины нагрузкой. Характеристики хребтины определяются путем численного решения задачи Коши для дифференциальных уравнений равновесия хребтины в потоке, нагруженной силами веса в воде, гидродинамическими силами и равномерно распределенными силами от натяжения крючковых поводцов. В этом случае начальные данные для расчета хребтины на  $i$ -м участке определяются только один раз в начале участка.

Начальные данные  $\alpha_{A_1}^{xp} = \alpha_0^{xp}, \varphi_{A_1}^{xp} = \varphi_0^{xp}, T_{A_1}^{xp} = T_0^{xp}$  для решения систем (2, 3, 4) зависят от величины погружения текущего промежуточного буга. Краевые условия для всех элементов яруса приведены в табл. 1.

Выполнение краевых условий для систем (2, 3, 4) осуществляется вариацией глубины погружения буга.

Таблица 1

**Краевые условия для всех элементов яруса**

Table 1

**Regional conditions for all elements of a longline**

Левый якорный линь	$l = 0 :$	$x_A = y_A = z_A = 0; \quad \alpha_0 = \alpha_A; \varphi_0 = \varphi_A; T_0 = T_A;$
	$l = l_{ял} :$	$z_B = -h_{ял}$
Первый буйлинь	$l = 0 :$	$x_{C_1} = y_{C_1} = z_{C_1} = 0; \quad \alpha_0 = \alpha_{C_1}; \varphi_0 = \varphi_{C_1}; T_0 = T_{C_1};$
	$l = l_{бл} :$	$z_{D_1} = h_{бл}$
Первый участок яруса	$l = 0 :$	$x_{A_1} = x_B; y_{A_1} = y_B; z_{A_1} = z_B; \quad \alpha_0 = \alpha_{A_1}; \varphi_0 = \varphi_{A_1}; T_0 = T_{A_1};$
	$l = l_{xp} :$	$z_{B_1} = z_{A_1} = -h_{ял}$
Второй участок яруса	$l = 0 :$	$x_{A_2} = x_{B_1}; y_{A_2} = y_{B_1}; z_{A_2} = z_{B_1}; \quad \alpha_0 = \alpha_{A_2}; \varphi_0 = \varphi_{A_2}; T_0 = T_{A_2};$
	$l = l_{xp} :$	$z_{B_1} = z_{A_2} = -h_{ял}$
$i$ -й участок яруса	$l = 0 :$	$x_{A_i} = x_{B_{i-1}}; y_{A_i} = y_{B_{i-1}}; z_{A_i} = z_{B_{i-1}}; \quad \alpha_0 = \alpha_{A_i}; \varphi_0 = \varphi_{A_i}; T_0 = T_{A_i};$
	$l = l_{xp} :$	$z_{B_{i-1}} = z_{A_i} = -h_{ял}$
Правый якорный линь	$l = 0 :$	$x_l^0 = x_{B_i}; y_l^0 = y_{B_i}; z_l^0 = z_{B_i}; \quad \alpha_0 = \alpha_{B_i} + \Delta; \varphi_0 = \varphi_{B_i} + \Delta; T_0 = T_{B_i};$
	$l = l_{ял} :$	$z_D = 0$

Кроме этого, при расчете систем (2-4) необходимо учитывать наличие особой точки. Особая точка – это точка, в которой хребтина располагается по касательной к горизонту. В этой точке

$$dz / dl = -\sin \alpha \cos \varphi = 0. \quad (6)$$

Из этого уравнения следует, что в особой точке выполняются условия:

- плоская хребтина (лежит в плоскости  $xz$ ):  $\alpha = 0; 180; 360^0; \varphi = 0;$
- пространственная хребтина:

$$\alpha \neq 0; 180; 360^0; \varphi = \pm \pi / 2. \quad (7)$$

При наличии особой точки хребтину следует представить в виде двух ветвей и стыковать решение каждой из веток, используя условия (7).

Характеристики буйлиня и якорного линя в точке  $B$  получаются путем решения задачи Коши для дифференциальных уравнений их равновесия. Начальные данные для буйлиня  $T_0^{бл}; \alpha_0^{бл}; \varphi_0^{бл}$  при этом определяются в зависимости от величины погружения буйя. При различных скоростях потока буй погружается на разную глубину, а форма буйлиня имеет вид, показанный на рис. 6.

Расчет характеристик хребтин последующих участков пелагического яруса в потоке осуществляется аналогично расчету хребтины первого участка, но уравнение стыковки использует вместо характеристик якорного линя  $\alpha_B^л; \varphi_B^л; T_B^л$  характеристики хребтины предыдущего участка  $\alpha_{A_{i-1}}^{xp}, \varphi_{A_{i-1}}^{xp}, T_{A_{i-1}}^{xp}$ .

При моделировании было замечено, что с увеличением скорости течения увеличивается выдувание хребтины в сторону потока и уменьшается стрелка прогиба хребтины (рис. 7, 8).

Характеристики трех участков пелагического яруса (рис. 6), полученные компьютерным моделированием при  $V = 0,2$  м/с, приведены в табл. 2.

При моделировании установлено, что при  $\gamma = 0$  натяжение хребтины максимально на последнем против течения участке, поэтому расчет хребтины на прочность надо вести по ее натяжению на последнем участке.

Форма хребтины яруса, установленного под углом  $\gamma = 87,5^\circ$  к потоку, показана на рис. 8.

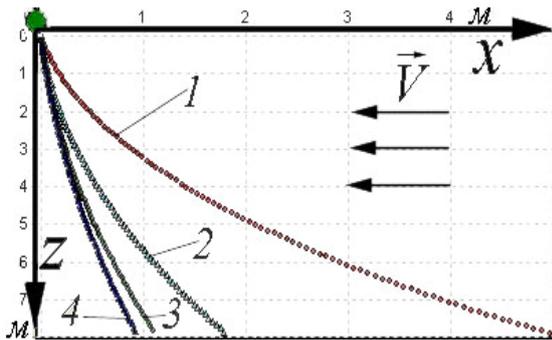


Рис. 6. Формы буйлиния для буйа диаметром 0,25 м при скорости  $V = 0,5$  м/с и различных погружениях буйа  $h_b / D_b$ : 1 – 0,35; 2 – 0,5; 3 – 0,7; 4 – 0,9  
 Fig. 6. Forms buoyline for buoy in diameter 0,25 m at speed  $V = 0,5$  km/s at various immersions buoy  $h_b / D_b$ : 1 – 0,35; 2 – 0,5; 3 – 0,7; 4 – 0,9

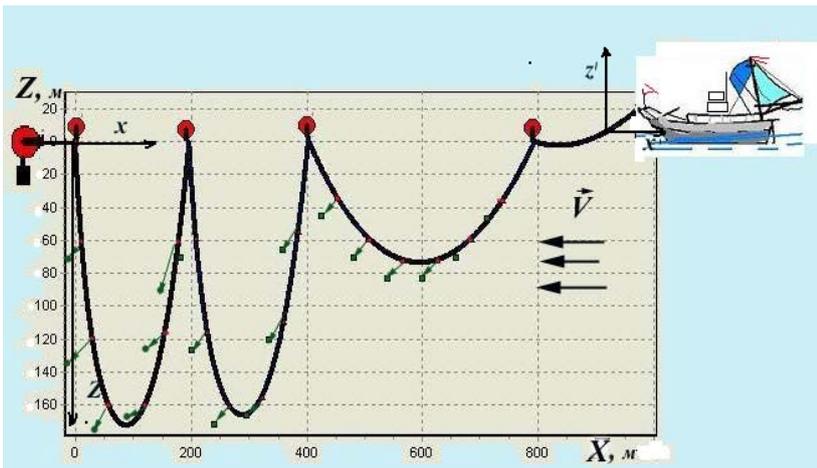


Рис. 7. Общий вид проекции дрейфующего крючкового яруса на плоскость  $xz$   
 Fig. 7. A general view of a projection of a drifting hook longline on a plane  $xz$

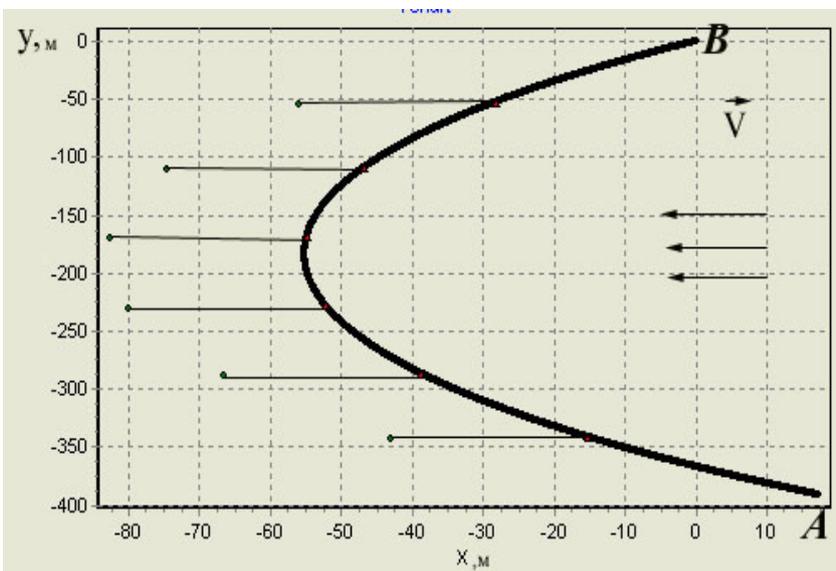


Рис. 8. Проекция первого участка хребтины крючкового яруса на плоскость горизонта при  $V = 0,2$  м/с и  $\gamma = 87,5^\circ$   
 Fig. 8. A projection of the first site the mainline a hook longline on a plane of horizon at  $V = 0,2$  м/с end  $\gamma = 87,5^\circ$

Таблица 2

**Характеристики трех участков пелагического яруса,  
полученные компьютерным моделированием при  $V = 0,2$  м/с**

Table 2

**Characteristics of three sites pelagic a longline,  
received by computer modelling at  $V = 0,2$  m/c**

Наименование характеристик	1-й участок		2-й участок		3-й участок		Вожак в воде	
	начало	конец	начало	конец	начало	конец	начало	конец
$T, Н$	12,34	12,96	12,17	13,11	19,37	20,88	22,85	20,86
$\alpha, ^\circ$	277,0	75,3	279,0	73,92	320,0	36,72	352,0	36,0
$\varphi^\circ$	0,04	0,105	0,117	360,1	0,112	0,36	1,415	0,36
$K_{номон}$	0,412		0,354		0,357		0,3	
Хорда, м	196		204		395		80	

### Заклучение

Получена расчетная схема и математическая модель хребтины яруса, позволяющая осуществлять компьютерное моделирование любых типов крючковых ярусов, находить форму, натяжение и сопротивление хребтин, а также определять характеристики якорных линий, буйлиней и промежуточных буев, что позволяет осуществлять оптимальную промысловую настройку ярусов при любых значениях скоростей течения и выметке яруса под любым углом к потоку.

### Список литературы

1. Светлицкий В.А. Механика гибких стержней и нитей. – М.: Машиностроение, 1978. – С. 222.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010. – С. 590.
3. Габрюк В.И., Кулагин В.Д. Механика орудий рыболовства и АРМ промысловика. – М.: Колос, 2000. – С. 416.
4. Габрюк В.И., Габрюк А.В., Осипов Е.В. Моделирование крючковых рыболовных систем. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2004. – С. 120.
5. Габрюк В.И., Кокорин Н.В., Осипов Е.В., Чернецов В.В. Механика орудий рыболовства. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2006. – С. 306.
6. Габрюк В.И, Здорова Л.А. Математическое моделирование ярусов // Изв. ТИНРО. – 2007. – № 150. – С. 148-152.
7. Габрюк Л.А. Методика моделирование хребтин ярусов // Изв. ТИНРО. – 2008. – № 151. – С. 269-277.
8. Габрюк Л.А., Габрюк В.И. Исследование горизонтальных придонных ярусов, выметываемых под углом к течению // Изв. ТИНРО. – 2010. – № 161. – С. 148-152.
9. Кокорин Н.В. Лов рыбы ярусами. – М.: ВНИРО, 1994. – С. 421.
10. Метелкин Л.И. Теоретическое исследование процесса выборки тунцеловного яруса // Тр. КТИРПиХ. – 1962. – В. XIV. – С. 53-67.
11. Маркин В.А. Экспериментальные исследования натяжения хребтины при выборке тунцеловных ярусов // Рыб. хоз-во. – 1971. – № 10. – С. 52-53.

**Сведения об авторе:** Габрюк Людмила Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, e-mail: gabrukvi@rambler.ru.

УДК 639.2.081.117

**А.А. Грачев, Д.А. Грачев**Астраханский государственный технический университет,  
414025, г. Астрахань, ул. Татищева, 16**НОВЫЙ СПОСОБ УСТАНОВКИ КРЫЛА СТАВНОГО НЕВОДА**

*Предложен способ установки крыльев ставных неводов по ломаной линии, имеющий существенные преимущества по сравнению с традиционным способом установки крыла по прямой линии. Разработана математическая модель процесса направления рыбы секционным крылом больших ловушек, устанавливаемых по ломаной линии. Приведены результаты расчетов углов для различных вариантов установки крыльев, включая криволинейную форму.*

**Ключевые слова:** ставной невод, крыло, математическая модель, оптимизация.

**A.A. Grachev, D.A. Grachev****NEW WAY OF INSTALLATION OF MAIN LEADER NET**

*A method of the stationary net leaders' installation by a broken line has the significant advantages over the traditional way of installation by a straight line. A mathematical model of the areas of the large fish sectional leader traps set by a broken line shows the calculation results of optimization setting angles for different installation options of the leaders, significantly increases the efficiency by optimizing the gear setting angles sectional leaders set by a broken line.*

**Keywords:** stationary uncovered pound net (set-net), main leader net, mathematical model, optimization.

**Введение**

Ф.И. Баранов [1] заложил основы теории лова ловушками, рассмотрев принцип действия ловушек, теорию крыла, основы теории входных отверстий, дал качественное обоснование некоторых показателей элементов этих орудий лова и т.д.

В настоящее время для анализа и обоснования показателей лова ловушками часто используют математические модели для оценки производительности лова через обловленный объем и вероятности ухода рыбы из зоны облова различными путями [2-9].

**Цель и задачи исследования**

Наиболее важным с точки зрения эффективности лова является первый этап процесса задержания (захвата) рыб крылом и направления их к входу в ловушку.

В настоящее время в отечественной практике крылья больших ловушек устанавливают строго прямолинейно, преимущественно под прямым углом к направлению береговой линии, чтобы обеспечить наибольшую облавливаемую площадь.

Современные исследования поведения рыб с помощью сонаров и подводные наблюдения [10] показывают, что значительная доля рыб (до 50 %) перемещается в противоположную сторону от ловушки и уходит из зоны облова, снижая его эффективность.

Соотношение между количеством рыбы, которая направляется в сторону ловушки и в противоположном направлении, зависит в основном от направления установки крыла по отношению к направлению хода рыбы – «рыбному маршруту».

В этой связи целесообразно определять **оптимальные углы установки крыльев** в зависимости от различных показателей лова, включающих характеристики внешней среды, вид рыб и характер их поведения и распределения и др.

### Математическое моделирование процесса направления рыб прямым крылом

М.И. Гуревич [11] предложил гипотезу об аналогии движения косяка рыбы с движением набегающей на косую стенку струи жидкости, в соответствии с которой вероятность направления рыбы крылом в сторону ловушки представляется зависимостью вида

$$p'(\alpha) = \frac{1 + \cos \alpha}{2}, \quad (1)$$

а в обратную сторону: 
$$p''(\alpha) = \frac{1 - \cos \alpha}{2}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – угол установки крыла к «рыбному маршруту», град.

Учитывая работоспособность данной гипотезы в отношении некоторых видов рыб и условий лова, исследованных в работах [10-12], можно решать задачи оптимизации угла установки крыла ловушек с целью повышения эффективности лова.

Представляет интерес оптимизация выбора угла установки крыла с одной ловушкой на конце к «рыбному маршруту» на удалении от берегов в акватории с равными глубинами. Для простоты расчетов вероятностью ухода рыбы через сетное полотно и от крыла можно пренебречь. В этом случае, как нами показано в [9], относительная доля рыб  $Q(a, L)$ , направляемых крылом к входу в ловушку от угла его установки к направлению «рыбного маршрута» и длины крыла  $L$ , равна

$$Q(a, L) = \frac{k'_1(1 + \cos \alpha)}{2} \times (e^{-k_L L}) \times \sin a. \quad (3)$$

На рис. 1 приведены результаты расчетов зависимости относительной доли рыб, задерживаемых и направляемых крылом к входу в ловушку, от угла его установки  $a$  к направлению «рыбного маршрута» и длины крыла по формуле (3) с использованием программы Mathcad.

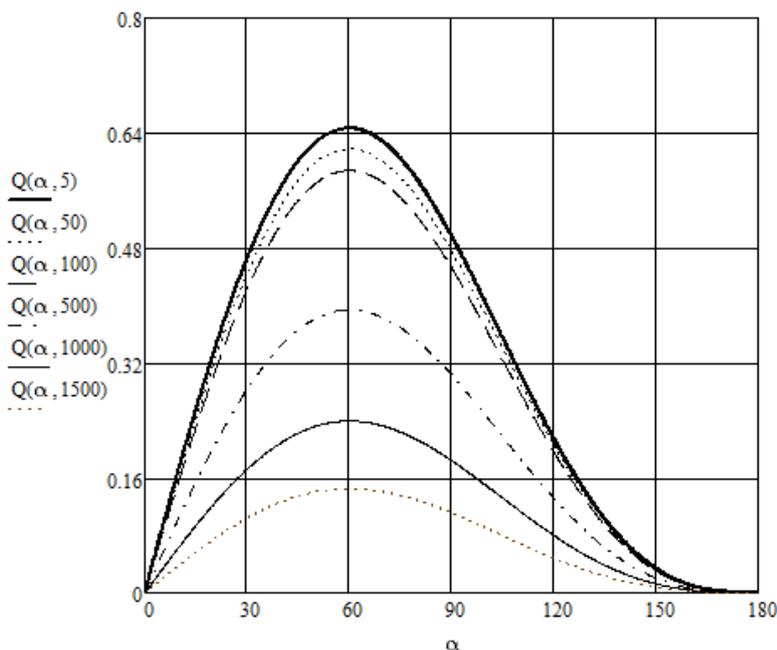


Рис. 1. Зависимость относительной доли рыб  $Q$ , задерживаемых и направляемых крылом к входу в ловушку от угла его установки  $\alpha$  к направлению «рыбного маршрута» и от длины крыла  $L$ , при  $L = 5-1500$  м;  $k_L = 0,001$ ;  $k'_1 = 1$   
 Fig. 1. Dependence of a relative share of fishes  $Q$  detained and directed by a wing to an entrance to a playground from a corner of its installation  $\alpha$  to the direction of "a fish route" and from wing length  $L$ :  $L = 5-1500$  м;  $k_L = 0,001$ ;  $k'_1 = 1$

Показано, что наибольшая доля рыб, направляемых крылом в ловушку, соответствует углу  $\sim 60^\circ$  по отношению к «рыбному маршруту» и уменьшается при увеличении длины крыла.

В Волго-Каспийском бассейне малые ловушки (секрета, венгеря) традиционно устанавливаются крылом «на ход» рыбы, т.е. под углом  $50-70^\circ$ . Большие ловушки для лова лососевых рыб в береговой зоне Дальнего Востока и Камчатки, у побережья Дагестана, Азербайджана и Ирана на Каспии преимущественно устанавливают под углом  $90^\circ$ .

### Математическое моделирование процесса направления рыб криволинейным крылом

Учитывая результаты ранее выполненных исследований [8,10] и опыт практического применения схем установки малых ловушек «на ход», представляется целесообразным для повышения эффективности лова осуществлять установку крыльев больших ловушек не по прямой, а в виде ломаной линии с уменьшением (либо увеличением) угла установки секции к «рыбному маршруту» от береговой к стрежневой. При этом количество секций крыла может быть более двух, а угол установки начальной (береговой) секции и угол между соседними секциями можно менять и оптимизировать в зависимости от условий лова.

В пользу данного предложения свидетельствуют экспериментальные данные [13], показавшие, что эффективность криволинейного крыла выше прямого, при этом доля рыб, попавших в ловушку, составила 46 %, а для прямолинейного крыла – намного ниже (23 %) [14].

Пусть  $L$  – длина крыла,  $k$  – коэффициент, учитывающий долю рыб, идущих вдоль крыла, которая дойдет до входа в ловушку,  $\alpha$  – начальный угол установки крыла (береговой секции),  $n$  – количество секций крыла,  $i$  – номер секции,  $z$  – закон распределения плотности рыбы,  $b$  – угол между соседними секциями,  $b\theta$  – оптимальный угол между смежными секциями.

Определим относительную долю рыб  $Q(b)$ , направляемых секционным крылом к входу в ловушку, учитывая, что каждая секция устанавливается под различным углом к «рыбному маршруту» и направляет рыб в ловушку с различной вероятностью как сумму вероятностей:

$$Q(b) = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\left[ 1 + \cos \left[ a - i \left( b \frac{\pi}{180} \right) \right] e^{-kL} z(i) \sin \left[ a - i \left( b \frac{\pi}{180} \right) \right] \right]}{2n} \quad (4)$$

В качестве примера зададим начальные параметры в виде следующих значений:  $\alpha = 90^\circ$ ,  $n = 3$ , при равномерном распределении плотности рыбы  $z(x) = 1$ . Для простоты расчета принимаем длину крыла  $L = 1$  и коэффициент  $k = 0,1$ . Решение уравнения (4) позволяет оптимизировать угол между секциями величиной  $b\theta = 17,745^\circ$ ; при этом относительная доля рыб, направляемых тремя секциями крыла в ловушку, максимальна и равна  $Q(b) = 0,532$ , или 53,2 %. Аналогичное крыло, установленное по прямой линии под углом  $90^\circ$ , дает значение величины  $Q(b) = 45,2 \%$ .

На рис. 2 показан пример оптимизации угла установки трехсекционного крыла по формуле (4) с использованием программы Mathcad.

Существенным образом до 0,581, или еще на 9 %, увеличивается доля рыб, направляемых трехсекционным крылом, при уменьшении начального угла установки береговой секции до  $70^\circ$  по сравнению с традиционной схемой. В этом случае необходимо устанавливать вторую и третью секции под углами соответственно  $64$  и  $58^\circ$ , при смежном угле меж-

ду секциями 6°. При этом повышение эффективности лова составляет 28,5 % по сравнению с традиционной схемой. Расчеты по формуле (4) показывают, что для двухсекционного крыла, если начальная секция устанавливается под традиционным углом 90°, то вторую секцию необходимо устанавливать под углом 60°. В этом случае доля направляемых рыб в ловушку увеличится на 15 %. Выбор варианта установки зависит от особенностей акватории и характера распределения и поведения рыб в зоне действия крыла. Предложенный метод расчета позволяет в значительной степени учитывать данные особенности и оптимизировать схему установки крыла для конкретных условий лова.

На рис. 3 приведены возможные схемы установки крыльев ставных неводов с расчетными показателями относительной доли рыб, направляемых крыльями к входу в ловушку. При увеличении количества секций установка крыла производится практически по кривой (штриховая линия). Криволинейная установка при начальном угле установки 90° увеличивает эффективность работы крыла на 20,6 % в сравнении с традиционной. При начальном угле установки  $\alpha$  менее 60° (верхняя схема) последующие секции устанавливаются под большим углом к направлению «рыбного маршрута», так как  $b\theta$  принимает отрицательные значения.

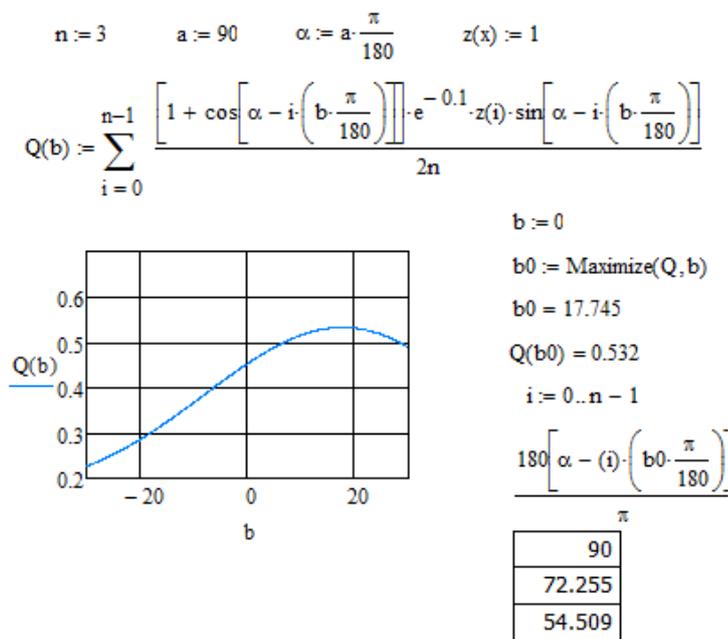


Рис. 2. Зависимость относительной доли рыб  $Q(b)$ , направляемых трехсекционным крылом к входу в ловушку, от угла между секциями  $b\theta$

Fig. 2. Dependence of a relative share of fishes of  $Q(b)$ , a directed three section main leader net to an entrance to a playground, from a corner between the sections  $b\theta$

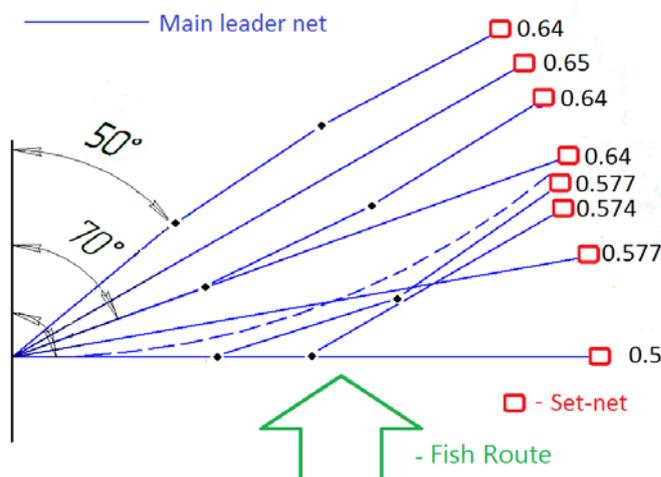


Рис. 3. Значения относительных долей рыб, направляемых крыльями к входу в ловушку, для различных схем установки

Fig. 3. Values of relative shares of the fishes directed by wings to an entrance to a trap for various schemes of installation

Предлагаемые схемы установки позволят повысить штормоустойчивость неводов, так как стреловые секции крыла испытывают меньшее гидродинамическое сопротивление при штормовых течениях. С другой стороны, вихревые шлейфы (вихревой звук), создаваемые течением при обтекании элементов крыла ставного невода по мере уменьшения угла, будут изменяться в сторону снижения интенсивности звука и повышения частот, способствуя уменьшению расстояния реагирования рыбы на крыло. При этом конструкцию двора необходимо будет изменить с учетом угла установки последней секции крыла. Кроме того, постепенное уменьшение угла установки крыла придаст перемещению рыб вдоль него более устойчивый характер и повлияет на снижение вероятности ухода рыбы от крыла в зависимости от длины крыла.

Предложенный способ расчета можно использовать как при подходе рыбы с одной стороны крыла, так и с другой, а общая доля рыб определяется суммированием с учетом соотношения долей рыб, подходящих с каждой из сторон.

Криволинейная форма установки может применяться не только для крыльев, но и для дворовых открылок и других элементов ставных неводов, что будет способствовать увеличению вероятности входа рыбы в ловушки и затруднять ее выход.

Целесообразно провести комплекс экспериментальных исследований в промысловых условиях для уточнения настроечных коэффициентов, входящих в предложенную зависимость оценки относительной доли рыб, направляемых крылом в сторону ловушки, для различных способов установки крыльев ставных неводов, а также провести испытание ловушки с криволинейными элементами.

### Выводы

Предложен способ установки крыльев ставных неводов по ломаной линии, имеющий существенные преимущества по сравнению с традиционным – прямолинейным.

Разработана математическая модель процесса направления рыбы секционным крылом, устанавливаемым по ломаной линии к входу в ловушку, приведены варианты расчетов оптимизации углов установки.

Показано существенное увеличение эффективности лова за счет оптимизации углов установки секционных крыльев по ломаной линии, в том числе по кривой.

### Список литературы

1. Баранов Ф.И. Избранные труды. Т. 1. Техника промышленного рыболовства. – М.: Пищ. пром-сть, 1969. – 719 с.
2. Мельников В.Н. Биотехническое обоснование показателей орудий и способов промышленного рыболовства. – М.: Пищ. пром-сть, 1979. – 375 с.
3. Мельников В.Н., Ханипур А.А. Математическая модель лова ставными неводами // Тр. Междунар. конф., посвященной памяти проф. В.Н. Войниканис-Мирского. – Астрахань: АГТУ, 2000. – С. 63-64.
4. Грачев А.А., Мельников В.Н. Разработка и применение математических моделей для повышения эффективности лова рыбы: обзор. информ. ВНИЭРХа. Сер. Промышленное рыболовство. – 2002. – Вып. 1. – 50 с.
5. Грачев А.А., Мельников В.Н. Промыслово-экологические проблемы повышения эффективности использования запасов промысловых рыб. – Астрахань: Изд. дом «Астраханский университет», 2006. – 207 с.
6. Мельников В.Н. Общие математические модели производительности лова ставными неводами и мелкими ловушками // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. – 2010. – № 2. – С. 25-33.

7. Мельников А.В., Грачев А.А. Обоснование показателей сетного полотна ставных неводов // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. – 2010. – № 2. – С. 34-45.
8. Грачев А.А. Оценка уловистости ловушки с учетом времени застоя // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. – 2012. – № 1. – С. 36-43.
9. Грачев А.А. Оценка показателей вероятности задержания и направления рыб крылом ловушки // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. – 2012. – № 1. – С. 30-35.
10. Inoue Y and, Arimoto T. Scanning sonar surveyon the capturing process of trap nets. Proc. World Sump. Fish. Gear and Fish. Vessel Design. – 1989. – P. 417.421. St. John's, Newfoundland: Marine Institute
11. Гуревич М.И. О косом набегании рыбы на сетную перегородку // Рыб. хоз-во. – 1963. – № 9. – С. 47.
12. Suzuki M. A fundamental study on fish movement in response to set nets and the function of the fishing gear. J/ Tokyo Univ. Fish. – 1971. – 57 (2-2). – P. 95-171.
13. Inoue Y. Effect of Blocking and Leading Fish School by Set-net Leader // Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. – 1987. – 53(7). – P. 1135-1140.
14. Inoue Y. Fish Behavior in the Capturing Process of the One-trapped and the Two trapped Set-net // Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. – 1986. – 53(10). – P. 1739-1744.

**Сведения об авторах:** Грачев Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: agrach30@mail.ru;

Грачев Дмитрий Александрович, e-mail: dagrachev@list.ru.

УДК 639.2.081.1

**Е.В. Осипов**

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

**МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ДВИЖЕНИЯ ГРУНТРОПА ДОННОГО ТРАЛА**

*Предложены методики расчета грунтрома при его движении по грунту, позволяющие находить его характеристики во время промысла. Предложен подход быстрого решения исследуемой задачи для двух методик.*

**Ключевые слова:** нижняя подбора, трал, грунтром, пластинчатый грунтром.

**E.V. Osipov****CALCULATION METHOD IT MOVES OF FOOTROPE IS BOTDOM TRAWL**

*In this work, the method of calculating footrope as it moves along the ground, allowing it to find data on the fishery. Proposed for quick solution of the problem for the two methods.*

**Keywords:** bottom selection, trawl, footrope, plate footrope.

**Введение**

Грунтромпы применяются для оснастки нижней подборы буксируемых орудий рыболовства (тралы, донные невода и др.). В настоящее время для расчета характеристик грунтромпов используются методики, изложенные в работах [1, 2], базирующихся на использовании формулы цепной линии, где расстояние между концами грунтрома задается. Проведенные исследования по применению пластинчатых грунтромпов, изложенные в работе [3], выявили увеличение горизонтального раскрытия тралов на 13 %. Такое влияние грунтрома на раскрытие трала не объясняется существующими методиками расчета. В частности, они не учитывают влияние на форму грунтрома сопротивления буксируемого орудия рыболовства и структуры грунтрома на расстояние между его концами.

В данной работе для расчета грунтромпов предлагается методика, основанная на использовании соответствующих дифференциальных уравнений, позволяющих более детально исследовать формы грунтрома с учетом его различной структуры.

**Результаты и их обсуждение**

В настоящее время на промысле донными тралами нашли применение грунтромпы, показанные на рис. 1. Конструкции грунтромпов (рис. 1, г, в) при своем движении по грунту создают почти равномерное сопротивление. Однако конструкции (рис. 1, а, г), в частности их элементы, диски рокхоперов и плоские резиновые бобинцы на крыльях трала ориентируются фактически под прямым углом к направлению буксировки, это создает значительное сопротивление, что приводит к износу элементов рокхоперов. За счет применения таких конструкций возросли размеры траловых досок почти в два раза [3].

Конструкции рокхопера появились в 1985 г. и изготавливались из использованных колес, поэтому имели небольшую стоимость [3]. Несмотря на это, они имеют и множество отрицательных качеств. Резиновые диски, которые являются самыми важными компонентами рокхопера, имеют почти нейтральный вес в морской воде, однако на палубе работать с ними тяжело.

В 2003-2004 гг. была разработана новая конструкция грунтрома [3], состоящего из резиновых четырехугольных щитков, которые с помощью скоб подсоединяются к верхнему кабелю и от нижнего края щитка – к нижнему кабелю на 40 % от общей высоты щитка (рис. 2).

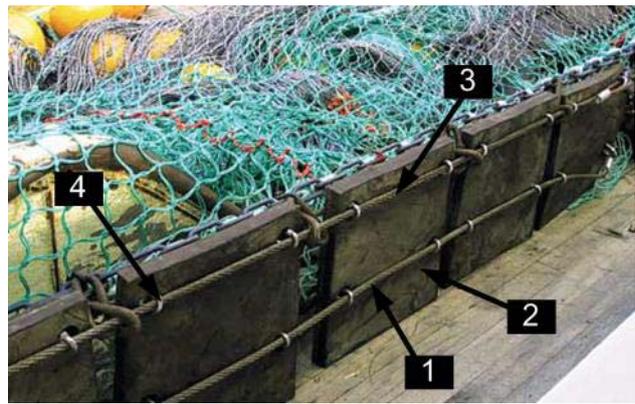
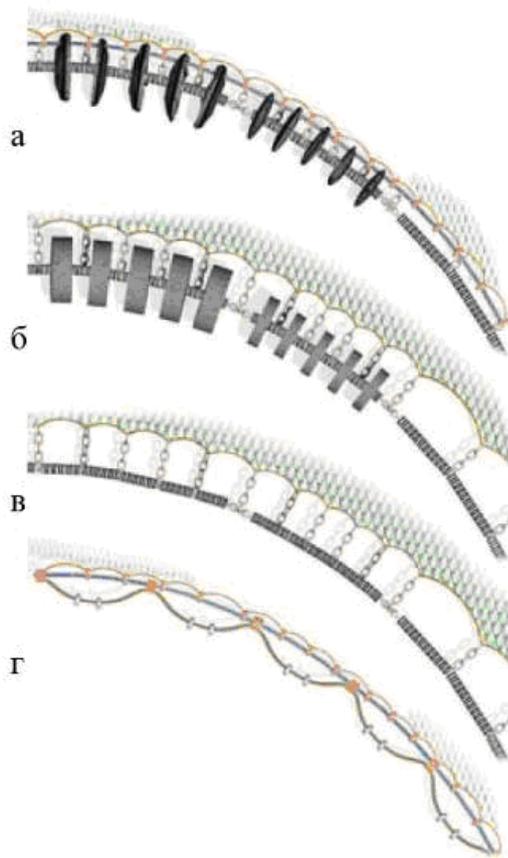


Рис. 2. Пластинчатый грунттроп [3]:  
 1 – кабель нижний; 2 – пластина;  
 3 – кабель верхний; 4 – скобы  
 Fig. 2. Footrope plate [3]:  
 1 – bottom cable; 2 – plate;  
 3 – top cable; 4 – brackets

Рис. 1. Оснащение грунттропов [4]: а – рокхоперами;  
 б – круглыми плоскими резиновыми бобинцами;  
 в – маленькими круглыми резиновыми дисками;  
 г – оклетневанными канатами с грузилами  
 Fig. 1. Footrope equipment [4]: а – rockhoppers;  
 б – round flat rubber bobints;  
 в – small round rubber discs; г – ropes with weights

Проведенные экспериментальные исследования [3] с пластинчатым грунттропом в гидроролотке (с моделями 1:10) и в море (с моделями 1:2) показали, что сопротивление пластинчатого грунттропа ниже на 4 % в сравнении с рокхоперами, а горизонтальное раскрытие нижней части трала больше на 13 %. Это показывает влияние гидродинамики пластин на работу нижней подборы трала, однако существующие методики расчета формы грунттропа не учитывают данный факт.

Поэтому для расчета грунттропа представим его в виде гибкой нити, присоединенной к нижней подборе, поэтому его движения по грунту (рис. 3) можно описать уравнениями

$$\begin{aligned} \dot{T} &= -R_{x_v} \cos \alpha + R_{y_v} \sin \alpha - F_g \cos \alpha; \\ \dot{\alpha} &= (R_{x_v} \sin \alpha + R_{y_v} \cos \alpha + F_g \sin \alpha) / T; \\ \dot{x} &= \cos \alpha; \quad \dot{y} = \sin \alpha; \quad F_g = (Q_z + R_{z_v}) k_g; \\ Q_z &= k_w G_z; \quad k_w = 1 - m_w / m; \quad R_{x_v} = C_{x_v} \frac{\rho v^2}{2} S, \quad (x_v, y_v, z_v), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол атаки элемента подборы;  $F_g$  – реакция грунта;  $R_{x_v}$ ,  $R_{y_v}$ ,  $R_{z_v}$  – проекции гидродинамической силы элемента подборы;  $C_{x_v}$ ,  $C_{y_v}$ ,  $C_{z_v}$  – коэффициенты гидродинамической силы элемента подборы;  $k_g$  – коэффициент реакции грунта элемента подборы;  $T_r, T_l$  – натяжения по концам подборы.

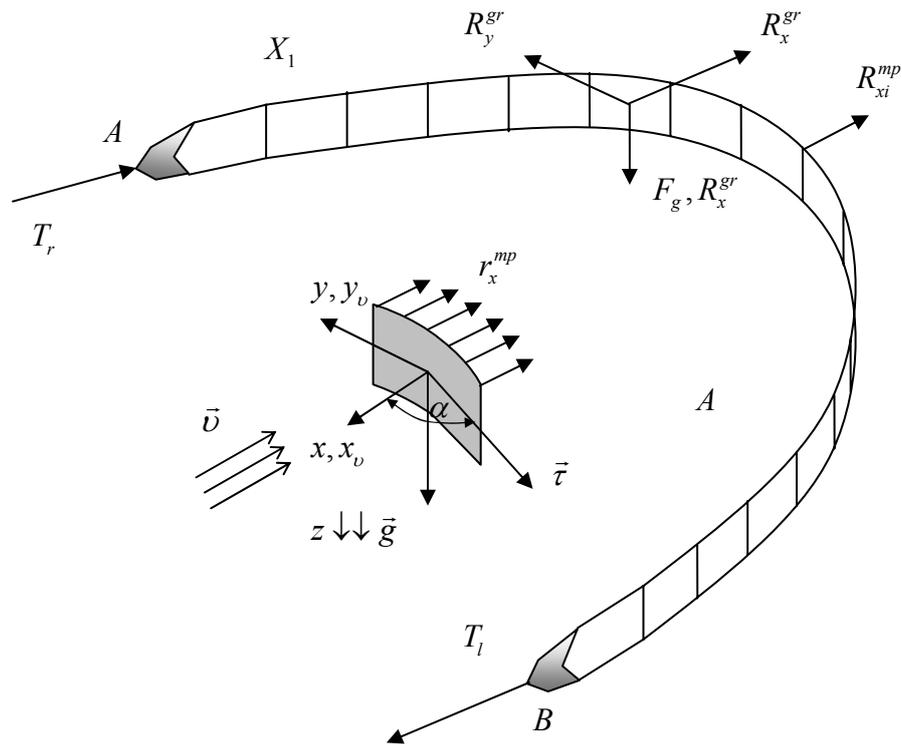


Рис. 3. Силы, приложенные к грунтропу (пластинчатый грунтроп)  
 Fig. 3. Forces applied to the footrope (plate footrope)

Необходимо учесть, что грунтроп является частью трала, поэтому с учетом работы траловой оболочки можно использовать две методики.

Первая методика заключается в том, что необходимо учитывать распределенное сопротивление оболочки трала в месте соединения нижней подборы с грунтропом, тогда (см. рис. 2) натяжение в  $i$ -м узле такого соединения найдем

$$R_{xi}^{mp} \approx \frac{R_x'^{mp}}{n}, \tag{2}$$

где  $n$  – количество соединений подборы с грунтропом (как правило, такое соединение производится между элементами грунтропа);  $R_x'^{mp}$  – сопротивление оболочки трала, приходящееся на нижнюю подбору.

Алгоритм № 1 расчета по первой методике:

Соглашение: шаг интегрирования изменяется в зависимости от длины по грунтропу каждого его элемента;  $X_1, X_2, \dots, X_n$  – точки соединения подборы с грунтропом.

1. Устанавливаем скорость траления.
2. В точке  $A$  задаемся  $T_r$  и  $\alpha$ .
3. Рассчитываем характеристики грунтропа по уравнениям (1) из точки  $A$  до точки  $X_i$ .
4. В  $i$ -м узловом соединении рассчитываем  $T_0$ ,  $\alpha_0$  для следующего участка грунтропа по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha^0 = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^n T_i \cos \alpha_i}; \quad T^0 \cos \alpha^0 = \sum_{i=1}^n T_i \cos \alpha_i, \quad (3)$$

где  $i$ -й входной элемент узла;  $n$  – количество входных элементов.

5. Рассчитываем характеристики хребтины по уравнениям (1) на следующем участке до  $i$ -го узлового соединения.

6. Рассчитываем характеристики хребтины (пункт 4-5) до точки  $B$ .

7. Если значения координат в точке  $B$  с некоторым допущением совпадают с расчетными значениями, то расчет заканчивается, если нет, то, используя модуль Recurrent [3], изменяем  $\alpha$  и переходим к пункту 2.

*Вторая методика* заключается в распределении  $R_x^{mp}$  по длине подборы, тогда приходящее на единицу ее длины распределенное сопротивление оболочки трала, приходящее на нижнюю подбору, найдем как

$$r_x^{mp} \approx \frac{R_x^{mp}}{L}, \quad (4)$$

где  $L$  – длина грунтропа.

Тогда в уравнениях (1)  $R_{x_v}$  будем находить по формуле

$$R_{x_v} = r_x^{mp} l + C_{x_v} \frac{\rho v^2}{2} S, \quad (5)$$

где  $l$  – длина  $i$ -го элемента грунтропа.

Алгоритм № 2 расчета по второй методике:

Соглашение: шаг интегрирования изменяется в зависимости от длины по грунтропу каждого его элемента;

1. Устанавливаем скорость траления.

2. В точке  $A$  задаемся  $T_r$  и  $\alpha$ .

3. Рассчитываем характеристики грунтропа по уравнениям (1) из точки  $A$  до точки  $B$ .

4. Если значения координат в точке  $B$  с некоторым допущением совпадают с расчетными значениями, то расчет заканчивается, если нет, то, используя модуль Recurrent [3], изменяем  $\alpha$  и переходим к пункту 2.

Необходимо отметить, что для быстрого решения задачи моделирования формы грунтропа по двум алгоритмам разделим грунтроп на две части (рис. 4), тогда значение  $T_r$  легко найти

$$T_r = \frac{R_{xi}^{mp}}{2 \cos \alpha}. \quad (6)$$

В этом случае в обоих алгоритмах пункт 2 примет вид: В точке  $A$  задаемся  $\alpha$ , значение  $T_r$  найдем по формуле (6).

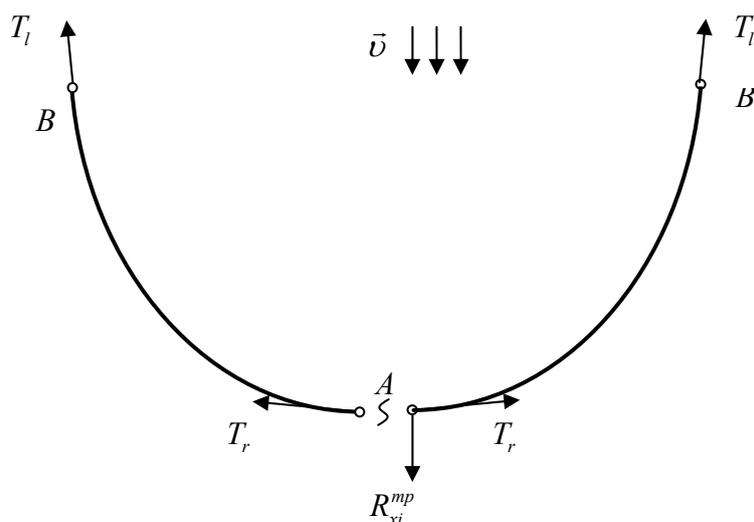


Рис. 4. Характеристики грунтропа для методики быстрого решения задачи моделирования формы грунтропа

Fig. 4. Specifications for procedure footrope quick solution of the problem of modeling forms footrope

### Выводы

В работе приведены две методики расчета грунтропа, которые учитывают влияние каждого его элемента на параметры грунтропа, предложена методика быстрого решения задачи моделирования формы грунтропа.

### Список литературы

1. Кондратьев В.П., Лисовский С.Ф. Проходимость донных тралов. – М.: Пищ. пром-сть, 1978. – 112 с.
2. Розенштейн М.М. Проектирование орудий рыболовства. – Калининград: КГТУ, 2009. – 367 с.
3. A new ground gear for bottom-trawls, incorporating spreading features. Focus on marine research. – 2004. – № 4. The Institute of Marine Research. Bergen. – 8 p.
4. Galbraith R.D., Rice A., Strange E.S. An Introduction to Commercial Fishing Gear and Methods Used in Scotland. FRS Marine Laboratory, Aberdeen. Scottish Fisheries Information Pamphlet. – 2004. – №. 25. – 44 p.
5. Осипов Е.В. Объектно-ориентированные методы расчета орудий рыболовства. – Владивосток: ТИПРО-Центр, 2009. – 89 с.

**Сведения об авторе:** Осипов Евгений Валериевич, кандидат технических наук, доцент, e-mail: oev@mail.ru.