

ПРОМРЫБОЛОВСТВО

УДК 639.2.081.117.212

Л.М. Симкин*

Рыболовная компания, 26119, Израиль, Хайфа,
Рыбный порт «Шавит», ул. Рыбаков, 65

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ
СПЛОШНОСТИ ДЛЯ КАНАТНО-СЕТНЫХ ЧАСТЕЙ
РАЗНОГЛУБИННЫХ ТРАЛОВ**

Рассмотрена возможность получения связи некоторых характеристик сетных пластин, из которых изготавливаются канатно-сетные конусы рыболовных тралов. Используя характеристики зависимости сплошности канатно-сетных пластин, из которых изготовлен трал, можно провести анализ существующих конструкций и уменьшить время на подбор трала-прототипа. Такая математическая зависимость позволяет ускорить расчет новых конструкций тралов и учесть особенности производства предприятий, изготавливающих траловые орудия лова. Применение функциональных зависимостей дает возможность ускорить процесс конструирования тралов.

Ключевые слова: функциональная зависимость, разноглубинный трал, линия тренда, мотенная часть трала, сетная часть мотни, канатная часть мотни, диаметр нитки, шаг ячеи.

DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-656-670.

Simkin L.M. A study of approach to assessing a functional relationship between solidity ratios for the rope/net part of midwater trawl // *Izv. TINRO*. — 2020. — Vol. 200, Iss. 3. — P. 656–670.

In this paper we have analyzed an approach to assessing the relationship between some characteristics of the net panels forming the rope/net cone of a fishing trawl. Using the mathematical relationship of solidity ratios for the rope/net panels, it is possible to analyze existing structures and, furthermore, reduce the time for selecting the prototype trawl. Such mathematical relationship allows faster calculation of new trawl designs which takes into account the production specifics of an enterprise manufacturing the trawl fishing gear. The use of mathematical relationships provides the opportunity to accelerate the process of trawl construction.

Key words: functional relationship, midwater trawl, trend line, codend part of trawl, net part of codend, rope part of codend, thread diameter, mesh size.

Введение

Конструкции канатно-сетных мотенных частей современных разноглубинных тралов в значительной степени унифицированы. Сетные части имеют наборы пластин с шагом ячеи 1200, 800, 400, 200, 100, 80, 60, 40, 30 мм. Канатные части в основном имеют ромбовидный или сотовый набор канатов. Определение шага ячеи пластин производится из условий обеспечения технологичности изготовления заданной формы,

* Симкин Леонид Михайлович, директор, e-mail: simkinleonid@mail.ru.

Simkin Leonid M., Director, Fishing company, 65, Fishermen's Street, Shavit Fishing Port, 26119, Haifa, Israel, e-mail: simkinleonid@mail.ru.

размеров и ремонтпригодности трала. Основным методом проектирования тралов в настоящее время является метод проектирования по прототипу с последующей корректировкой на моделях.

В научных работах А.Л. Фридмана [1981], В.П. Карпенко, А.Е. Толкунова [2005], А.А. Недоступа [2011] одним из факторов, объединяющих тралы, является идентичность определения сопротивления трала-прототипа и проектируемого, когда в расчетах учитывается характер сетного полотна в виде комбинации шага ячеи и диаметра нитки:

$R = 1800d/a \cdot F \cdot u^2$ — сопротивление однородной сети, перпендикулярной к потоку [Фридман, 1981];

$k = 1800d/a$ — коэффициент сопротивления сети данного вида [Фридман, 1981];

$F = d/a \cdot 1/(u_1 \cdot u_2)$ — густота сети однородной структуры [Фридман, 1981];

$F_o = d/a_c \cdot 1/(u_{xc} \cdot u_{yc})$ — параметр сплошности канатно-сетной оболочки [Карпенко, Толкунов, 2005; Недоступ, 2011]. Присутствие комбинации шага ячеи и диаметра нитки d/a в других формулах позволяет провести исследования с целью поиска получения функциональной зависимости числового значения d/a от места его расположения в канатно-сетных мотенных частях разноглубинных тралов.

Коэффициент сплошности K^i рассчитывается по формуле

$$K^i = d^i/a^i, \quad (1)$$

где d^i — диаметр нитки или каната однородной пластины или конуса мотни; a^i — шаг ячеи ниточной или канатной однородной пластины или конуса мотни.

Коэффициент сплошности любой канатно-сетной оболочки содержит в себе значения шага ячеи и диаметра нитки канатно-сетной оболочки трала или тралов-прототипов. Функциональная зависимость величин коэффициентов сплошности канатно-сетных оболочек от линейного размера сетной и канатной части трала может быть основанием для определения шага ячеи проектируемой канатно-сетной оболочки трала.

В настоящее время в отечественном конструировании тралов имеется несколько путей получения характеристик сетного полотна:

— метод геометрического подобия, разработанный А.Л. Фридманом [1981];

— метод расчета на основании сопротивления канатно-сетного конуса трала, разработанный В.К. Коротковым [1998].

На основании данных методов конструктивные характеристики сетного полотна рассчитываются без учета характеристик соседних пластин.

В настоящем исследовании поставлена цель проверить возможность создания линии тренда, на основе которой подбирается наиболее подходящая функциональная зависимость коэффициентов сплошности канатно-сетной мотни по ее длине, чтобы выбранная зависимость подходила для одного или нескольких тралов и имела максимальную величину достоверной аппроксимации.

Материалы и методы

Объектами исследования были выбраны рабочие конструкции тралов, которые использовались в период с 1984 по 1995 г. на лове рыбы в районах Атлантического и Тихого океанов.

Исследованию подверглись рабочие чертежи тралов, которые были размещены в наставлениях различных промысловых баз и рыбопромысловых бассейнов, в отчетах промысловых испытаний и подводных наблюдений за тралами и анализах конструкции разноглубинных тралов.

Для исследования из всего перечня тралов* были выбраны три канатных разноглубинных трала для РТМС:

— № 1 — 111/768м пр. 2806 НПО Промрыболовства;

— № 2 — 110/600 пр. Э04-233-2651-039;

— № 3 — 123/640м пр. Н10-ИФТ-33.01.000.

* Анализ канатных разноглубинных тралов для РТМС: отчет о НИР (промежуточный) / НПО по технике промышленного рыболовства. № 2881. Калининград, 1987. 97 с.

Были исследованы канатно-сетные оболочки этих тралов. По их параметрам проведены расчеты и составлены таблицы для расчетов данных. Для наглядности и анализа построены диаграммы и получены функциональные зависимости для одного трала и трех тралов.

С учетом ранее опубликованных рекомендаций [Симкин, 2010, 2011] и с целью лучшей визуальной оценки процесса исследования и построения диаграмм определяем начальную точку расчета, направления отсчета и величины, откладываемые на осях, а именно:

— диаметр входа в мешок трала (должен соответствовать размерам слипа судна, который зависит от конструкции траулера);

— шаг ячей первой сетной пластины (должен соответствовать промысловому размеру рыбы или шагу ячей, указанному в конвенции).

На основании этого все рассуждения, исследования, расчеты и построения диаграмм, линий тренда начинаем от места соединения тралового мешка с мотней трала (рис. 1).

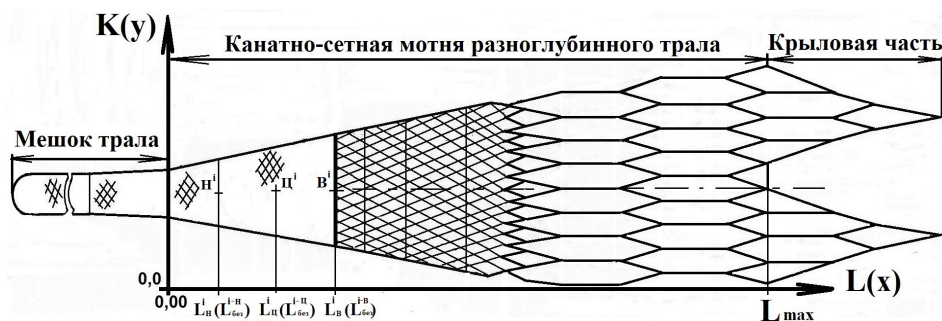


Рис. 1. Схема координат относительно канатно-сетной части трала

Fig. 1. Diagram of coordinates relative to the rope/net part of trawl

На оси ординат ($K(y)$) откладываются исследуемые величины, такие как: шаг ячей, безразмерный шаг ячей, коэффициент сплошности, коэффициент безразмерной сплошности и т.д.

На оси абсцисс ($L(x)$) отмечаются:

L_H^i ; $L_{Ц}^i$; L_B^i — расстояние от точки начала оси $L^0 = 0,00$ до точки на пластине или сетном конусе с порядковым номером i . Точка расположена на канатно-сетной части, для которой произведен расчет коэффициента сплошности;

$L_{Без}^{i-H}$; $L_{Без}^{i-Б}$; $L_{Без}^{i-В}$ — безразмерное расстояние от точки начала оси $L_{Без}^0 = 0,0$ до точки на пластине или сетном конусе с порядковым номером i . Точка расположена на канатно-сетной части, в которой произведен расчет безразмерного коэффициента сплошности.

Для исследования мы берем канатно-сетную мотню в сборе.

Величина коэффициента сплошности для каждой пластины или конуса рассчитывается по формуле (1).

Величина коэффициента сплошности K^i однородной пластины или конуса (рис. 2) распространяется на всю ее длину, включая величину съязычки.

В дальнейшем на диаграммах числовое значение K^i сплошности будет иметь вид прямой линии:

линия начинается в точке L_H^i — расстояние от начала канатно-сетной части до нижней кромки однородной пластины или однородного конуса (см. рис. 1);

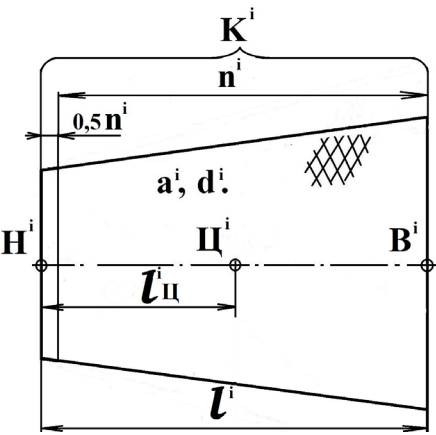
линия оканчивается в точке L_B^i — расстояние от начала канатно-сетной части до верхней кромки однородной пластины или конуса (рис. 1);

середина линии находится в точке $L_{Ц}^i$ — расстояние от начала канатно-сетной части до половины длины пластины или конуса с учетом длины съязычки (рис. 1).

Результаты расчетов вносим в таблицы.

Место, в котором мы рассчитываем коэффициент сплошности или безразмерный коэффициент сплошности, определяем исходя из простоты расчета относительно начала

Рис. 2. Конструкция однородной пластины, из которой собирается канатно-сетная часть разноглубинного трала, и места расположения расчетных точек
Fig. 2. Configuration of a standard panel forming the rope/net part of midwater trawl and ocations of the calculation points



мотенной части трала. Для наших исследований мы назначаем три места на пластине (см. рис. 2) или конусе, где будем определять коэффициент сплошности однородной пластины или конуса в мотне трала:

- H^i — нижняя кромка однородной пластины или конуса;
- B^i — верхняя кромка однородной пластины или конуса;
- \mathcal{C}^i — средняя линия пластин, из которых собран однородный конус.

В нашем случае однородная пластина и однородный конус — это одно и то же. Они имеют одинаковые характеристики и размеры, которые используются в исследованиях и расчетах.

Результаты и их обсуждение

Составление таблицы для получения данных

Для получения диаграмм нам необходимо рассчитать данные с чертежей трала, которые будут нанесены на диаграмму. Исходя из практики, полученной при подготовке и написании статьи, и с целью облегчения расчетов и уменьшения возможных ошибок при математических расчетах будем использовать табличный метод расчетов.

Все таблицы заполняются величинами, снятыми или рассчитанными с чертежей тралов (табл. 1–3).

Таблица 1

Данные, полученные с чертежа трала 111/768м пр. 2806

Table 1

Data obtained from diagram of a 111/768m trawl, proj. 2806

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	34	37	65	100	200	200	400	800	1200	6000	10000
2	3,1	2,5	2,5	2,5	3,1	3,1	4,0	6,0	6,0	8,0	11,9
3	0,0912	0,0680	0,0385	0,0250	0,0155	0,0155	0,010	0,0075	0,0050	0,00065	0,0004
3.1	1,0	0,750	0,422	0,274	0,170	0,170	0,110	0,080	0,055	0,007	0,0043
4	65,0	108,0	108,0	54,0	6,5	6,5	10,5	11,0	12,0	2,0	—
4.1	4,42	8,0	14,04	10,80	2,60	2,60	8,40	17,60	28,80	24,0	50,0
5	0,0	4,42	12,42	26,46	37,26	39,86	42,46	50,86	68,46	97,26	121,26
6	4,42	12,42	26,46	37,26	39,86	42,46	50,86	68,46	97,26	121,26	171,26
7	0,0	0,026	0,072	0,154	0,218	0,233	0,248	0,297	0,40	0,568	0,710
8	0,026	0,072	0,154	0,218	0,233	0,248	0,297	0,40	0,568	0,71	1,0
9	2,21	4,0	7,02	5,04	1,30	1,30	4,20	8,80	14,40	12,0	25,0
10	2,21	8,42	19,44	31,50	38,56	41,16	46,66	59,66	82,86	109,26	146,26
11	0,013	0,049	0,1135	0,184	0,225	0,240	0,274	0,330	0,480	0,640	0,850

Таблица 2

Данные, полученные с чертежа трала 110/600м пр. Э04-233-2651-039

Table 2

Data obtained from diagram of a 110/600m trawl, proj. E04-233-2651-039

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	35	35	65	80	100	200	400	800	1200	6000	10000
2	3,1	2,5	2,5	2,5	2,5	3,1	4,0	5,0	6,0	9,6	11,9
3	0,0890	0,0710	0,0380	0,0310	0,0250	0,0155	0,010	0,0060	0,0050	0,0008	0,0004
3,1	1,0	0,80	0,430	0,350	0,280	0,170	0,110	0,070	0,0560	0,0090	0,0045
4	25,5	161,5	54,0	54,0	54,0	11,0	10,5	10,5	10,5	1,0	2,0
4.1	1,82	11,34	7,02	8,64	10,80	4,40	8,40	16,80	25,20	12,0	60,0
5	0,0	1,82	13,16	20,18	28,82	39,62	44,02	52,42	69,22	94,42	106,42
6	1,82	13,16	20,18	28,82	39,62	44,02	52,42	69,22	94,42	106,42	166,42
7	0,0	0,011	0,079	0,120	0,170	0,243	0,265	0,315	0,416	0,570	0,640
8	0,011	0,079	0,120	0,170	0,243	0,265	0,315	0,416	0,570	0,640	1,0
9	0,91	5,67	3,51	4,32	5,40	2,20	4,20	8,40	12,60	6,0	30,0
10	0,91	7,40	16,67	24,50	34,22	41,82	48,22	60,82	81,82	100,42	136,42
11	0,005	0,045	0,10	0,150	0,206	0,250	0,290	0,366	0,490	0,60	0,820

Таблица 3

Данные, полученные с чертежа трала 123/640м пр. Н10-ИФТ-33.01.000 ЦПКТБ

Table 3

Data obtained from diagram of a 123/640m trawl, proj. N10-IFT-33.01.000 СРКТБ

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	60	60	80	100	200	400	800	1000	1200	5000	10000
2	3,1	2,5	2,5	2,5	2,5	4,0	5,0	6,0	6,0	8,0	9,6
3	0,0520	0,0420	0,0310	0,0250	0,0125	0,010	0,0063	0,0060	0,0050	0,0016	0,0010
3,1	1,0	0,810	0,60	0,480	0,240	0,190	0,120	0,115	0,096	0,031	0,019
4	156,0	93,5	40,5	40,5	22,5	6,5	9,5	5,0	6,0	2,5	2,0
4.1	18,72	11,22	6,48	8,10	9,0	5,20	15,20	10,0	14,40	25,0	40,0
5	0,0	18,72	29,94	36,42	44,52	53,52	58,52	73,72	83,72	98,12	123,12
6	18,72	29,94	36,42	44,52	53,52	58,52	73,72	83,72	98,12	123,12	163,12
7	0,0	0,115	0,180	0,220	0,270	0,330	0,360	0,450	0,510	0,60	0,750
8	0,115	0,180	0,220	0,270	0,330	0,360	0,450	0,510	0,60	0,750	1,0
9	9,36	5,61	3,24	4,05	4,50	2,60	7,60	5,0	7,20	12,50	20,0
10	9,36	24,33	33,18	40,47	49,02	56,12	66,12	78,72	90,92	100,62	143,12
11	0,57	0,15	0,20	0,25	0,30	0,34	0,40	0,48	0,56	0,62	0,88

Порядок строк для всех таблиц одинаков и имеет следующие значения и последовательность:

строка № — номер однородной пластины или конуса i , с которых получают данные для расчетов;

строка 1 — шаг ячеи сетного или канатного однородного участка i мотни трала, a^i ;

строка 2 — диаметр нитки, сетного или канатного однородного участка i мотни трала, d^i ;

строка 3 — величина коэффициента сплошности однородного сетного или канатного участка i мотни трала рассчитывается по формуле (1);

строка 3.1 — величина безразмерного коэффициента сплошности однородного сетного или канатного участка i мотни трала рассчитывается по формуле $K_{\text{без}}^i = K^i/K^1$; (2)

строка 4 — количество ячеек n^i по высоте каждой i однородной пластины или конуса согласно раскроечному чертежу трала;

строка 4.1 — длина l^i однородной i пластины или конуса, включая величину съязычки, рассчитывается как $l^i = (n^i \cdot 2a^i) + 0,5a^i$, (3)

где n^i — количество ячеек по высоте расчетной однородной пластины или однородного конуса; a^i — шаг ячеи однородной пластины или однородного конуса;

строка 5 — величина расстояния L_H^i до нижней точки однородной пластины или конуса на оси абсцисс $L(x)$ графиков, рассчитывается как $L_H^i = l^1 + l^2 + \dots + l^{i-1}$; (4)

строка 6 — величина расстояния до верхней точки пластины на графике, рассчитывается как $L_B^i = l^1 + l^2 + \dots + l^{i-1} + l^i$; (5)

строка 7 — расстояние до нижней кромки пластины или конуса в пересчете на ее безразмерную длину, рассчитывается по формуле $L_{\text{без}}^{i-H} = L_H^i / L_{\text{max}}$ (6)

где L_H^i — расстояние от начала мотни до нижней кромки однородной пластины или конуса; L_{max} — максимальная длина канатно-сетной части трала (см. рис. 1);

строка 8 — расстояние до верхней кромки однородной пластины или конуса в пересчете на ее безразмерную длину, рассчитывается по формуле $L_{\text{без}}^{i-B} = L_B^i / L_{\text{max}}$ (7)

где L_B^i — расстояние от начала мотни до верхней кромки однородной пластины или конуса;

строка 9 — середина однородной пластины или конуса, рассчитывается по формуле $l_{\text{ц}}^i = 0,5l^i = 0,5(l^i + 0,5a^i)$; (8)

где l^i — длина однородной пластины или конуса, включая величину съедайки;

строка 10 — расстояние до точки центра пластины i рассчитывается так: $L_{\text{ц}}^i = l^1 + l^2 + \dots + l^{i-1} + 0,5l^i$; (9)

строка 11 — расстояние до центра пластины в пересчете на безразмерную длину, рассчитывается по формуле $L_{\text{без}}^{i-ц} = L_{\text{ц}}^i / L_{\text{max}}$ (10)

где $L_{\text{ц}}^i$ — расстояние от начала мотни до центра каждой однородной пластины или конуса.

После сравнительного анализа более сотни чертежей разноглубинных тралов было принято решение разделить исследования на три этапа.

Первый этап — определение точки, которая характеризовала бы данный участок мотни.

Второй этап — определение возможности построения диаграммы для одной или нескольких мотенных частей.

Третий этап — определение возможности получения общей функциональной зависимости для нескольких мотенных частей.

Первый этап исследования

Определение точек, позволяющих провести исследование распределения сплошности пластин по длине трала.

Для этого из табл. 1 переносим на диаграмму следующие данные:

— строка 3: величина сплошности каждой пластины или конуса;

— строка 5: расстояние от соединения мотни с траловым мешком до каждой нижней кромки пластины или конуса;

— строка 6: расстояние от соединения мотни с траловым мешком до каждой верхней кромки пластины или конуса.

На диаграмме (рис. 3) получаем прямую линию тренда коэффициентов сплошности пластин (конусов) по длине канатно-сетной части трала 111/768м. Начало линии, которая соответствует коэффициенту сплошности пластины (конуса) K^i , определяется расстоянием L_H^i , измеряемым от начала координат до кромки начала пластины (конуса) мотни H^i . Окончание линии коэффициента сплошности пластины (конуса) K^i определяется расстоянием, измеряемым от начала координат до кромки каждого конуса мотни B^i .

Определяем характер изменения коэффициентов сплошности пластин (конусов) по длине мотни трала. Для этого построим диаграммы (рис. 4–6).

На рис. 4–6 виден характер изменения линий коэффициентов сплошности пластин (конусов) по длине канатно-сетной части разноглубинного трала. Изменения линий схожи между собой. На основании идентичности изменения построенных линий мы можем выбрать одну из трех диаграмм и использовать ее в дальнейших исследованиях.

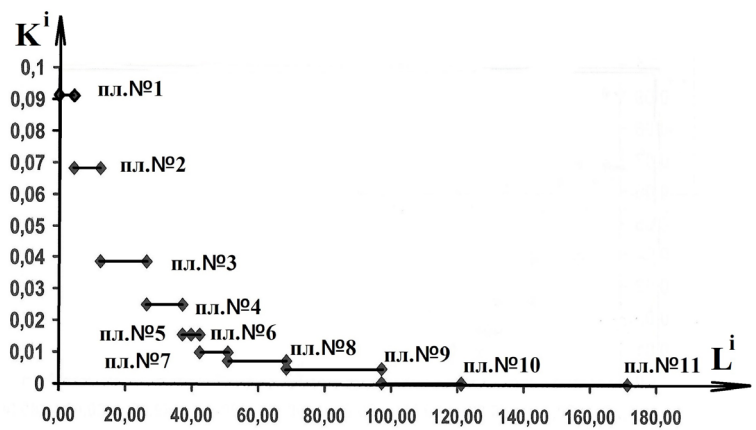


Рис. 3. Распределение коэффициента сплошности по длине канатно-сетной части трала
Fig. 3. Distribution of solidity ratio along the length of the rope/net part of trawl

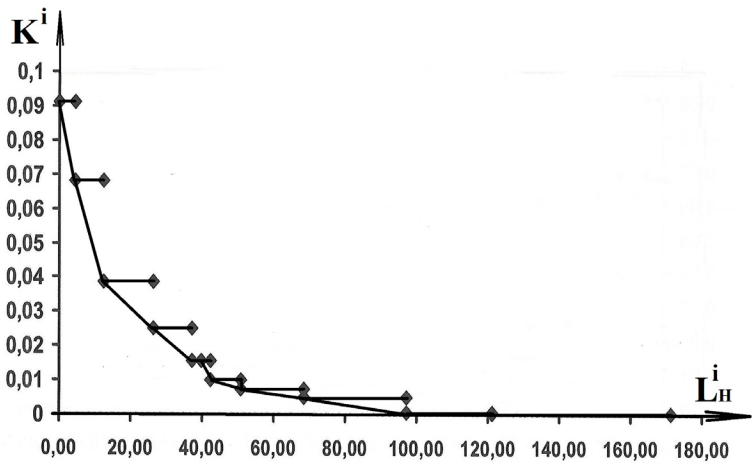


Рис. 4. Линия изменения коэффициента сплошности, проходящая через нижние кромки пластин по длине трала
Fig. 4. Line of variation in solidity ratio, running through the lower margins of the panels along the trawl length

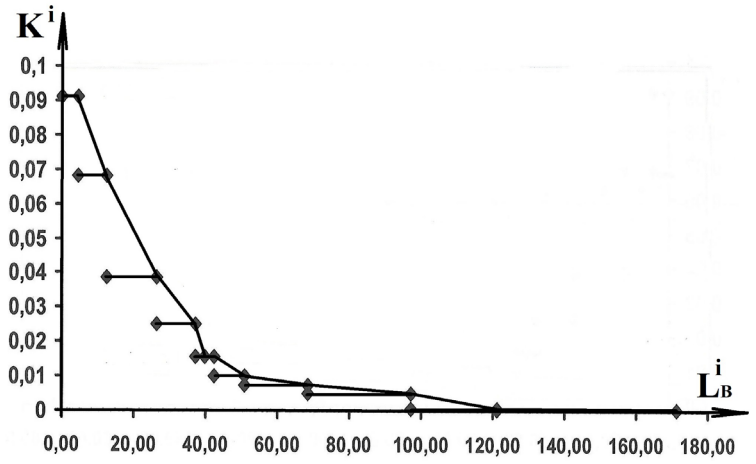


Рис. 5. Линия изменения коэффициента сплошности, проходящая через верхние кромки пластин по длине трала
Fig. 5. Line of variation in solidity ratio, running through the upper margins of the panels along the trawl length

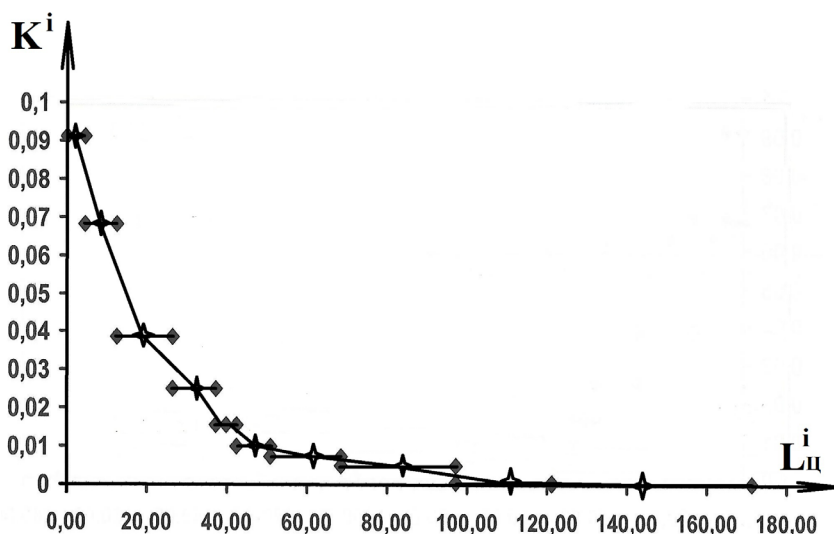


Рис. 6. Линия изменения коэффициента сплошности пластин относительно фактической длины, проходящая через центры пластин

Fig. 6. Line of variation in solidity ratio of the panels relative to the actual length, running through the center of the panels

Выбираем диаграмму на рис. 6: линия коэффициентов сплошности пластин проходит через центры пластин, вектор приложения силы сопротивления однородных пластин будет находиться в центре.

Второй этап исследований

Для построения диаграммы (рис. 7) для трех разноглубинных тралов, которые были выбраны для исследования, используем данные табл. 1–3, рассчитанные по чертежам тралов. Из таблиц возьмем данные, находящиеся в строках 3 и в 10.

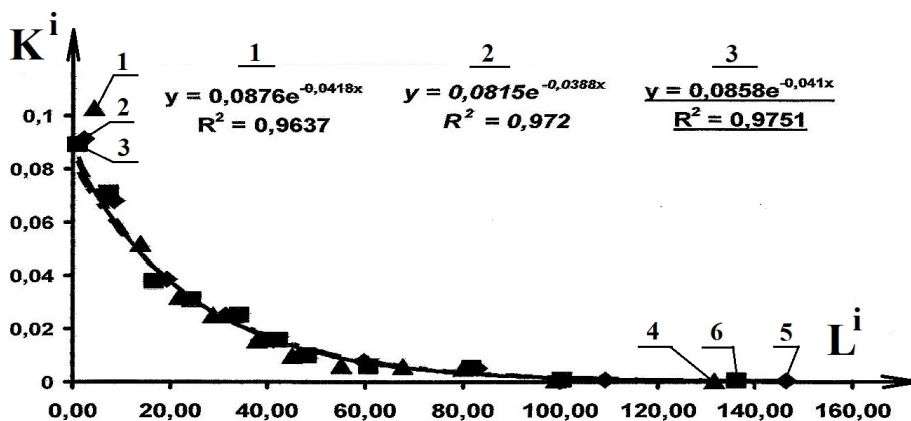


Рис. 7. Линии трендов и функциональные зависимости изменения коэффициентов сплошности по длине канатно-сетных частей тралов в случае, когда коэффициент сплошности пластины находится в центре пластин

Fig. 7. Trend lines and functional relationships of variation in the solidity ratios along the length of the rope/net part of trawl in the case where the panel solidity ratio is located at the center of the panels

На рис. 7 получены линии трендов для каждой исследуемой канатно-сетной части и подобраны для них функциональные зависимости: для трала 123/640м $K^i = 0,0876e^{-0,0418L^i}$; для трала 111/768м $K^i = 0,0815e^{-0,0388L^i}$; для трала 110/600м $K^i = 0,0858e^{-0,041L^i}$.

Как видно на рис. 7, начало линий трендов по оси $K(y)$ для тралов 110/600 и 111/768м мотенных частей находится в одной точке. В то же время начало линии тренда трала 123/640м существенно выше; окончание линий трендов по оси $L(x)$ для всех тралов имеет существенную разницу по длине.

Таким образом, для каждой канатно-сетной мотни возможно построить диаграмму и получить функциональную зависимость коэффициента сплошности сетной мотни K^i по ее длине L^i .

Невозможно провести сравнительный анализ канатно-сетных частей тралов 111/768м, 110/600 и 123/640м между собой, так как величины коэффициентов сплошности первых пластин канатно-сетных частей тралов имеют большую разницу между собой: (рис 7, точки 1, 2 и 3); максимальные величины длин канатно-сетных частей исследуемых тралов имеют недопустимую разницу между собой (рис. 7, точки 4, 5 и 6).

Третий этап исследований

Полученные зависимости на рис. 7 могут применяться только для сравнения или проектирования трала, равного по длине проектируемому или исследуемому. Необходимы преобразования, которые мы осуществим в два хода.

Приведение коэффициентов сплошности каждого конуса к его безразмерному эквиваленту

Приведение к безразмерному коэффициенту сплошности $K_{\text{без}}^i$ — это определение того, какую часть составляет коэффициент сплошности рассчитываемой пластины или конуса i относительно величины сплошности первой пластины K^1 мотенной части трала, что рассчитывается на основании формулы (2).

Приведем все величины коэффициентов сплошности однородных конусов к безразмерным коэффициентам сплошности $K_{\text{без}}^i$ (табл. 1, строка 3.1), а именно: каждый коэффициент сплошности конуса K^i (табл. 1, строка 3) разделим на коэффициент сплошности K^1 для первого конуса (табл. 1, строка 3, столбец 1). В нашем случае это величина сплошности $K^1 = 0,0912$.

Приведение всех существующих величин длин, необходимых для построения диаграммы, к их безразмерному эквиваленту

Расчет безразмерной длины $L_{\text{без}}^{i-H}; L_{\text{без}}^{i-Ц}; L_{\text{без}}^{i-B}$ — это определение того, какую часть от максимальной длины L_{max} канатно-сетной части трала составляет длина $L_H^i; L_{Ц}^i; L_B^i$. Длина определяется от начала канатно-сетной части трала $L(x) = 0,00$ до точек $H^i, Ц^i, B^i$, которые находятся на однородной пластине i , для которой рассчитывается величина безразмерной сплошности.

Приведем все длины пластин до центров к безразмерному виду, а именно: все расстояния $L_{\text{без}}^{i-Ц}$ до центров каждой пластины (табл. 1, 2 и 3, строка 10) разделим на максимальную длину L_{max} канатно-сетной части исследуемого трала. В таблицах это пересечение строки 6 с последними столбцами. Для трала 111/768м эта величина равна $L_{\text{max}} = 171,26$ м, для трала 110/600 — 166,42 м, для 123/640м — 163,12 м.

На основании полученных величин безразмерных сплошностей $K_{\text{без}}^i$ однородных пластин и безразмерных длин $L_{\text{без}}^{i-Ц}$ до центров этих однородных пластин строим диаграмму (рис. 8) для всех исследуемых тралов.

На рис. 8 видно, что значения безразмерных коэффициентов сплошности первых пластин сетных частей 1, 2 и 3 максимально приблизились друг к другу, а безразмерные коэффициенты сплошности последних пластин находятся в максимальной близости друг от друга.

На основании полученных на рис. 8 линий трендов подбираем функциональные зависимости для каждого трала: трал 123/640м — зависимость вида $K_{\text{без}}^i = 0,8935t^{-6,7074L_{\text{без}}^i}$; трал 111/768м — $K_{\text{без}}^i = 0,8353t^{-6,2617L_{\text{без}}^i}$; трал 110/600 — $K_{\text{без}}^i = 0,8938t^{-6,475L_{\text{без}}^i}$.

По данным табл. 1–3 построим общую диаграмму (рис. 9), найдем среднюю линию тренда для этих тралов и по ней подберем усредненную функциональную зависимость для них.

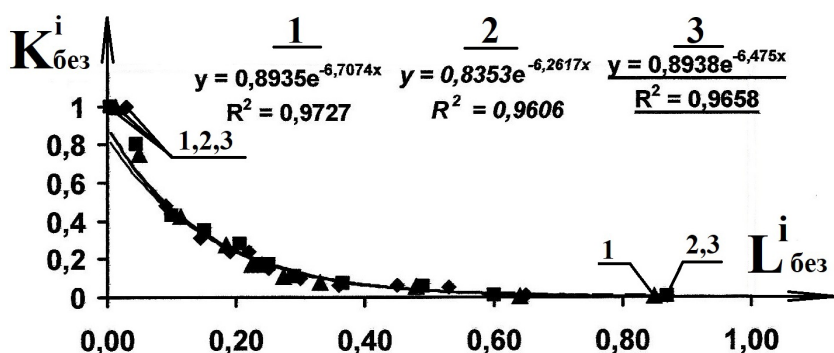


Рис. 8. Зависимость безразмерных коэффициентов сплошностей для канатно-сетных частей для трех исследуемых разноглубинных тралов по отдельности

Fig. 8. Relationship of dimensionless solidity ratios for the rope/net parts of three trawls under study separately

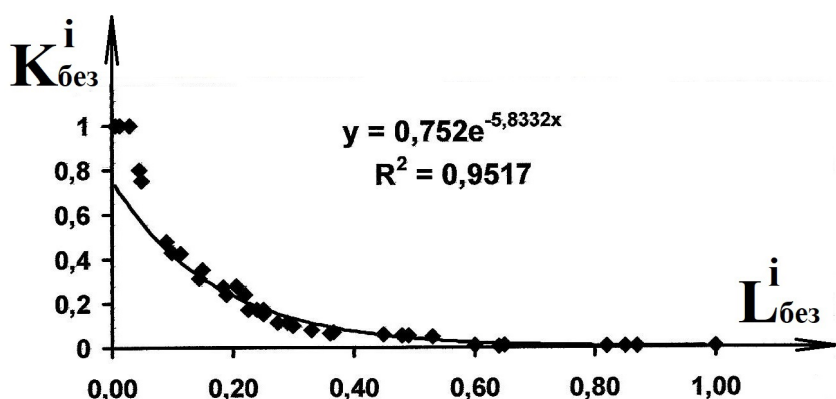


Рис. 9. Зависимость усредненных безразмерных коэффициентов сплошностей канатно-сетных частей для трех исследуемых разноглубинных тралов

Fig. 9. Relationship of averaged dimensionless solidity ratios for the rope/net parts of three midwater trawls under study

Видно, что усредненная линия тренда и полученная функциональная зависимость с большой точностью описывают изменения безразмерных сплошностей пластин относительно местоположения пластин.

Таким образом, при использовании безразмерных значений длин и безразмерных коэффициентов сплошности пластин возможно построение диаграмм, с которых можно получить функциональные зависимости как для одной мотенной части, так и для бесконечного количества мотенных частей.

Полученные функциональные зависимости могут использоваться при сравнительном анализе между единичными конструкциями мотенных частей и для групп мотенных частей разноглубинных тралов.

Пример применения

На основании технического задания нам необходимо спроектировать канатно-сетную мотню разноглубинного трала со следующими параметрами:

- 1) максимальная длина канатно-сетной части должна быть длиной 68 м в жгуте;
- 2) шаг ячеи в первой пластине должен быть не менее 50 мм;
- 3) диаметр нитки первой пластины может быть равен 2,2 мм;
- 4) последняя пластина изготовлена из канатов и набрана в виде ромба. Длина одного каната 10 м.

За прототип для наших расчетов взяты рассмотренные в статье тралы.

Для канатно-сетных частей тралов получена функциональная зависимость усредненных безразмерных коэффициентов сплошностей тралов-прототипов: $K_{\text{б\acute{e}з}}^{i=0} = 0,8965L^{-6,5859L^i}$.

На первом этапе: определяем зависимость безразмерных коэффициентов сплошности для проектируемой мотни трала.

Характер зависимости безразмерных коэффициентов сплошности для проектируемой мотни будет иметь вид $K_{\text{б\acute{e}з}}^i = kL^{-6,5859L^i}$. Чтобы использовать данную зависимость при расчете новой мотни, необходимо откорректировать числовой коэффициент уравнения k .

На основе длин первых пластин канатно-сетных частей тралов (табл. 1–3) рассчитываем длину первой пластины новой мотни как среднеарифметическое значение длин первых пластин-прототипов $L_{\text{ср}}^1 = (4,42 + 8,88 + 1,82)/3 = 5,04$ м.

Определим безразмерную длину до центра первой пластины по формуле (10). В нашем случае мы имеем только одну пластину длиной $L_{\text{б\acute{e}з}}^1 = 5,04$ м. Следовательно, безразмерная длина до центра первой пластины или конуса будет $L_{\text{б\acute{e}з}}^1 = 0,5 L_{\text{ср}}^1 / L_{\text{max}} = 0,5 \cdot 5,04/68 = 0,037$.

Определяем безразмерный коэффициент сплошности $K_{\text{б\acute{e}з}}^{1-11}$ первой пластины мотни. Он рассчитывается по формуле (2) и будет равен: $K_{\text{б\acute{e}з}}^{1-11} = (d^1/a^1)/(d^1/a^1) = 1,0$.

На основании полученной функциональной зависимости усредненных безразмерных коэффициентов сплошностей тралов-прототипов $K_{\text{б\acute{e}з}}^i = kL^{-6,5859L^i}$ определяем числовой коэффициент уравнения k при безразмерном значении сплошности $K_{\text{б\acute{e}з}}^{1-11} = 1$ и безразмерной длине до центра первой пластины $L_{\text{ср}}^1 = 0,0232$.

Рассчитаем числовое значение коэффициента уравнения k : $K_{\text{б\acute{e}з}}^i = kL^{-6,5859L_{\text{ср}}^1} = kL^{-0,1528} = k \cdot 0,985 = 1$, $k = 1/0,985 = 1,015$.

Следовательно, функциональная зависимость для новой мотни будет иметь вид $K_{\text{б\acute{e}з}}^i = 1,015L^{-6,5859L^i}$.

Второй этап расчета: построение линии тренда и анализ полученной зависимости.

На основании полученной зависимости $K_{\text{б\acute{e}з}}^i = 1,015L^{-6,5859L^i}$ рассчитаем значения безразмерных сплошностей $K_{\text{б\acute{e}з}}^i$ в точках, где безразмерное значение $L_{\text{б\acute{e}з}}^1 = 0,0; 0,1; 0,2; \dots; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$.

Для облегчения расчетов составим табл. 4 и внесем результаты расчетов.

Строка 1 — безразмерное значение длины в точке расчета $L_{\text{б\acute{e}з}}^1$.

Строка 2 — $Z^i = -6,5859L^i$, это числовое значение степени натурального логарифма в расчетной точке $L_{\text{б\acute{e}з}}^1$.

Строка 3 — величина логарифма в точке расчета $L_{\text{б\acute{e}з}}^1$.

Строка 4 — для облегчения расчетов вносим в таблицу постоянный числовой коэффициент уравнения, равный $k = 1,015$.

Строка 5 — безразмерный коэффициент сплошности $K_{\text{б\acute{e}з}}^i$ в расчетной точке $L_{\text{б\acute{e}з}}^1$.

Таблица 4

Расчет данных для построения диаграммы и получения функциональной зависимости для новой канатно-сетной части разноглубинного трала

Table 4

Calculation of data for building a diagram and assessing a functional relationship for the new rope/net part of midwater trawl

1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
2	0,0	-0,66	-1,320	-2,0	-2,630	-3,290	-3,95	-4,60	-5,260	-5,930	-6,590
3	1,0	0,52	0,270	0,14	0,072	0,037	0,019	0,01	0,005	0,003	0,0014
4	$k = 1,015$										
5	1,02	0,53	0,274	0,14	0,073	0,037	0,019	0,01	0,005	0,003	0,0014

По результатам расчета строим диаграмму (рис. 10) и получаем линию тренда для проектируемой канатно-сетной части трала, где первая сетная пластина должна изготавливаться из дели с шагом ячеи 50 мм и диаметром нитки 2,2 мм.

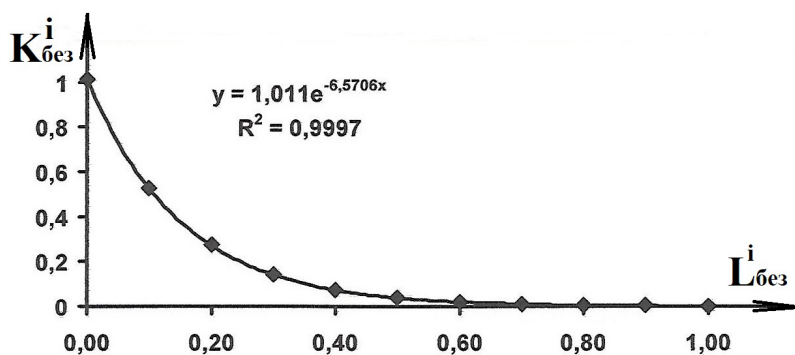


Рис. 10. Зависимость безразмерного коэффициента сплошности для проектируемой мотни разноглубинного трала

Fig. 10. Relationship of the dimensionless solidity ratio for the midwater trawl codend being designed

Полученные линия тренда и функциональная зависимость для данной канатно-сетной части разноглубинного трала будут базовыми.

Пример расчета величины сплошности пластины

Определим величину коэффициента сплошности на расстоянии 24,5 м от начала мотни.

1. Рассчитываем значение безразмерной длины $L^{24,5}_{безд} = 24,5/68 = 0,36$.
2. Рассчитываем величину безразмерного коэффициента сплошности в расчетной точке $K^{24,5}_{безд} = 1,011e^{-6,5706L^{24,5}_{безд}} = 1,011 \cdot 0,094 = 0,095$.
3. Рассчитываем коэффициент сплошности $K^i_{безд} = (d^i/a^i)/(d^1/a^1) = (d^i/a^i)/(2,2/50) = (d^i/a^i)/0,044$, $K^{24,5} = d^{24,5}/a^{24,5} = 0,095 \cdot 0,044 = 0,00418$.
4. В точке 24.5 м от начала проектируемой канатно-сетной части величина отношения диаметра нитки к шагу ячеи должна быть $d/a = 0,00418$.

Анализ полученной линии тренда

По данным табл. 4 и линии тренда видны участки с различной степенью изменения коэффициентов безразмерных сплошностей. Есть участки с резким, плавным и незначительным изменением. Определим для этих участков линии трендов, подберем для них функциональные зависимости. Сравним полученные линии трендов и функциональные зависимости с базовой линией тренда и базовой функциональной зависимостью.

Построим диаграмму для значений $K^i_{безд}$ и $L^1_{безд}$ в точках, где $i = 0,0; 0,1; 0,2; 0,3$ (рис. 11).

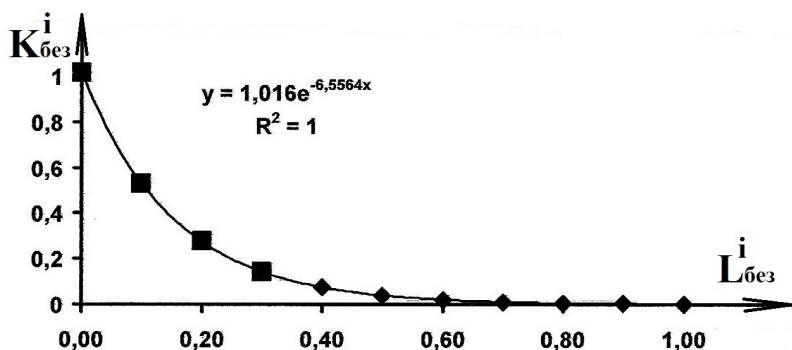


Рис. 11. Зависимость безразмерных коэффициентов сплошности для участков при $i = 0,0; 0,1; 0,2; 0,3$

Fig. 11. Relationship of dimensionless solidity ratios for the areas with $i = 0,0; 0,1; 0,2; 0,3$

Как видно в этом случае, теоретическое распределение безразмерной сплошности относительно существующего лучше, и коэффициент аппроксимации больше относительно базисного коэффициента аппроксимации $R^2 = 0,9517$.

Построим диаграмму для значений $K_{без}^i$ и $L_{без}^1$ в точках, где $i = 0,3; 0,4; 0,5; 0,6$ (рис. 12).

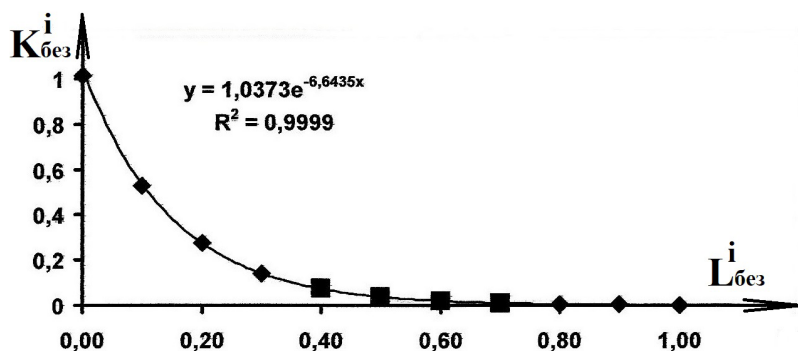


Рис. 12. Зависимость безразмерных коэффициентов сплошности для участка при $i = 0,4; 0,5; 0,6; 0,7$

Fig. 12. Relationship of dimensionless solidity ratios for the areas with $i = 0.4; 0.5; 0.6; 0.7$

Как видно и в этом случае, теоретическое распределение безразмерной сплошности относительно существующей также лучше и коэффициент аппроксимации больше относительно базисного коэффициента аппроксимации $R^2 = 0,9517$.

Построим диаграмму для значений $K_{без}^i$ и $L_{без}^1$ в точках, когда $i = 0,8; 0,9; 1,0$ (рис. 13).

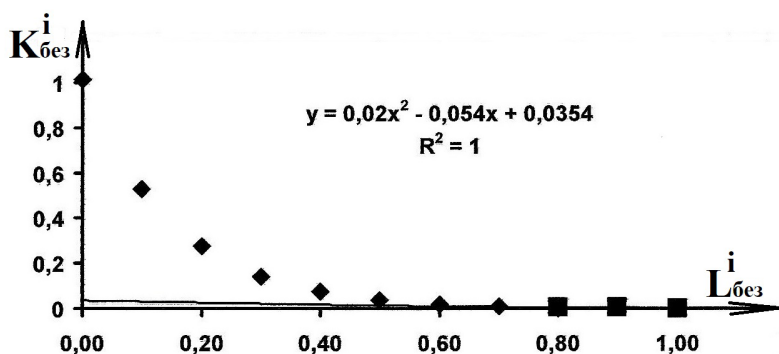


Рис. 13. Зависимость безразмерных коэффициентов сплошности для участка при $i = 0,8; 0,9; 1,0$

Fig. 13. Dependences of the dimensionless density coefficient for the areas with $i = 0.8; 0.9; 1.0$

И в этом случае теоретическое распределение безразмерной сплошности относительно существующего лучше и коэффициент аппроксимации больше относительно базисного коэффициента аппроксимации $R^2 = 0,9517$.

На основе проведенного анализа можно предположить, что если разделить канатно-сетную мотню трала на участки с учетом их функционального назначения, можно добиться более высокой точности получаемых функциональных зависимостей для данных участков.

Закключение

На основе проведенного исследования установлено, что возможно получение функциональной зависимости коэффициентов сплошности мотенной части одного разноглубинного трала, а также нескольких конструкций канатно-сетных мотенных частей разноглубинных тралов.

Для получения более точных результатов полученных уравнений рекомендуется разделять канатно-сетные части разноглубинных тралов с учетом их влияния на поведение рыбы внутри мотни трала. Каждый участок канатно-сетной мотни разноглубинного трала надо рассматривать отдельно от всей конструкции, а также отдельно проводить расчеты, строить диаграммы и получать функциональные зависимости для каждого участка — мелкойчайной части мотни, крупнойчайной, канатной части мотни и крыловой части.

Благодарности

Автор благодарит за оказанную помощь в период подготовки и написания статьи сотрудников кафедры промышленного рыболовства Калининградского государственного технического университета профессора кафедры М.М. Розенштейна, доцентов кафедры А.В. Суконова и Т.Е. Суконову.

Автор также приносит огромную благодарность старшему научному сотруднику лаборатории Атлантического филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО») А.С. Мыскову за его поддержку в процессе работы над статьей.

Отдельная благодарность генеральному конструктору фирмы «Аквасервис» А.Н. Литвину за материалы, предоставленные для работы над статьей.

Финансирование работы

За счет средств автора.

Соблюдение этических стандартов

Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов. Работа теоретическая.

Список литературы

Карпенко В.П., Толкунов А.Е. Оценка конструкторско-технических характеристик передней части трала по ее габаритным размерам и располагаемой тяге судна на ранних стадиях проектирования траловой системы // Промышленное рыболовство : сб. науч. тр. — Калининград : КГТУ, 2005. — С. 125–132.

Коротков В.К. Реакция рыб на трал, технология их лова : моногр. — Калининград : ЭКБ АО «МАРИНПО», 1998. — 397 с.

Недоступ А.А. Методика расчета сетных активных орудий лова прибрежного и океанического рыболовства : моногр. — Калининград : КГТУ, 2011. — 155 с.

Симкин Л.М. Рекомендация по построению обобщенного графика для нескольких сетных частей пелагических тралов // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 125-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РСФСР Баранова Федора Ильича. — Калининград : КГТУ, 2011. — С. 391–397.

Симкин Л.М. Рекомендация по расчету сетных частей пелагических тралов на основе сетной части прототипа // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РФ А.Л. Фридмана и 95-летию со дня основания кафедры промышленного рыболовства. — Калининград : КГТУ, 2010. — С. 410–417.

Фридман А.Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства : учеб. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1981. — 328 с.

References

Karpenko, V.P. and Tolkunov, A.E., Assessment of the design and technical characteristics of the front part of the trawl by its overall dimensions and the available trust of the vessel at the early stages of designing the trawl system, in *Promyshlennoye rybolovstvo* (Industrial fishing), Kaliningrad: KGTU, 2005, pp. 125–132.

Korotkov, V.K., *Reaktsiya ryb na tral, tekhnologiya ikh lova* (The reaction of fish on the trawl, the technology of their fishing), Kaliningrad: AO MARINPO, 1998.

Nedostup, A.A., *Metodika rascheta setnykh aktivnykh orudiy lova pribrezhnogo i okeanicheskogo rybolovstva* (Calculation method for net active fishing gear for coastal and ocean fishing gear), Kaliningrad: KGTU, 2011.

Simkin, L.M., Recommendation for the construction of a generalized schedule for several net parts of pelagic trawls, in *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 125-letiyu so dnya rozhdeniya zaslužennogo deyatelya nauki i tekhniki RSFSR Baranova Fedora Il'icha* (Proc. Int. Sci. Pract. Conf. Commem. 125th Anniv. Birthday Honored Worker Sci. Tech. RSFSR Baranov Fedor Ilyich), Kaliningrad: KGTU, 2011, pp. 391–397.

Simkin, L.M., Recommendation for the calculation of net parts of pelagic trawls based on the net part of the prototype, in *Mater. Mezhdunar. nauchno-prakt. konf., posvyashch. 85-letiyu dnya rozhdeniya zaslužennogo deyatelya nauki tekh. RF A.L. Fridmana, 95-letiyu dnya osnovaniya kafedry prom. rybolov.* (Proc. Int. Sci. Pract. Conf. Commem. 85th Anniv. Birthday Honored Worker Sci. Tech. Russ. Fed. A.L. Fridman, 95th Anniv. Found. Chair Ind. Fish.), Kaliningrad: KGTU, 2010, pp. 410–417.

Fridman, A.L., *Teoriya i proyektirovaniye orudiy promyshlennogo rybolovstva* (Theory and design of industrial fishing tools), Moscow: Legkaya i Pishchevaya Promyshlennost', 1981.

Analiz kanatnykh raznoglubinnykh tralov dlya RTMS (Analysis of midwater rope trawls for RTMS), Available from NPO po tekhnike promyshlennogo rybolovstva, 1987, Kaliningrad, no. 2881.

Поступила в редакцию 2.07.2020 г.

После доработки 10.08.2020 г.

Принята к публикации 20.08.2020 г.