Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 75, № 1. С. 176–185.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья
УДК 639.2.081.117.21 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-75-17 EDN: HWGXQW

Исследование гидродинамики и формы тралового мешка

Данил Александрович Красаускас[1], Глеб Александрович Еремеев[2], Александр Алексеевич Недоступ[3], Карина Витальевна Коновалова[4], Павел Владимирович Насенков[5]
Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия
[3] nedostup@klgtu.ru

Аннотация. Представлены результаты комплексного исследования влияния формы тралового мешка на его гидродинамические характеристики. Исследование включало как теоретический анализ, так и экспериментальные испытания в гидроканале «Фишеринг Сервис» (г. Калининград) с применением тензометрических датчиков.

Объектом исследования выступил траловый мешок различной геометрической конфигурации. Предметом исследования стали зависимости между геометрическими параметрами мешка и его гидродинамическим сопротивлением.

В ходе экспериментов, проведённых в контролируемых условиях, были установлены количественные зависимости между основными параметрами конструкции и сопротивлением тралового мешка в водном потоке. Особое внимание уделено анализу влияния формы мешка (цилиндрической и грушевидной) на его рабочие характеристики.

Ключевые слова: траловый мешок, гидродинамика, форма тралового мешка, гидроканал, эксперимент

Финансирование: исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по теме «Разработка беспроводной системы контроля параметров трала с элементами искусственного интеллекта «Автотрал».

Для цитирования: Красаускас Д. А., Еремеев Г. А., Недоступ А. А., Коновалова К. В., Насенков П. В. Исследование гидродинамики и формы тралового мешка // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 75, № 1. С. 176–185.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 75, no. 1. P. 176–185.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHING

Original article

Study of hydrodynamics and shape of Trawl Cod-end

Danil A. Krasauskas[1], Gleb A. Eremeev[2], Aleksandr A. Nedostup[3], Karina V. Konovalova[4], Pavel V. Nasenkov[5]
Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
[3] nedostup@klgtu.ru

Abstract. The paper presents the results of a comprehensive study of the influence of the geometric shape of a trawl cod-end on its hydrodynamic characteristics. The research included

© Красаускас Д. А., Еремеев Г. А., Недоступ А. А., Коновалова К. В., Насенков П. В., 2026

both theoretical analysis and experimental tests in the Fishiring Service hydrocanal (Kaliningrad) using strain gauges.

The object of the study was a trawl cod-end of various geometric configurations. The subject of the research was the relationships between the geometric parameters of the cod-end and its hydrodynamic resistance.

During the experiments conducted under controlled conditions, quantitative dependencies were established between the main design parameters and the resistance of the cod-end in the water flow. Particular attention was paid to the analysis of the influence of the cod-end shape (cylindrical and pear-shaped) on its performance characteristics.

Keywords: cod-end, hydrodynamics, cod-end, hydrocanal, experiment

Funding: the study was carried out as part of the state assignment on the topic «Development of a wireless system for monitoring trawl parameters with elements of artificial intelligence «Autotrawl».

For citation: Krasauskas D. A., Eremeev G. A., Nedostup A. A., Konovalova K. V., Nasenkov P. V. Study of hydrodynamics and shape of trawl cod-end. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2026;75(1):176–185. (In Russ.).

Введение

Современное развитие рыболовства предъявляет повышенные требования к эффективности и экологической безопасности промыслового оборудования. Одним из ключевых элементов донного и пелагического тралового лова является траловый мешок, от геометрических и гидродинамических характеристик которого напрямую зависит уловистость. В условиях возрастающего внимания к снижению энергозатрат и минимизации негативного воздействия на морские экосистемы исследование гидродинамики траловых мешков приобретает особую актуальность.

Основной гидродинамической характеристикой тралового мешка, влияющей на форму и уловистость, является гидродинамическое сопротивление R_x. Гидродинамическое сопротивление тралового мешка оказывает значительное влияние на рабочие параметры трала, включая натяжение канатно-веревочных элементов, нагрузку на шворочные швы, а также геометрию раскрытия сетного полотна. Точная количественная оценка сопротивления потоку, угла действия результирующей силы и натяжения отдельных участков сетного материала является необходимым условием для последующего совершенствования конструкции тралов и повышения их эксплуатационной эффективности.

Экспериментальная часть работы проводилась на базе гидродинамического канала ООО «Фишеринг Сервис».

Для регистрации натяжения в оттяжках применялись тензодатчики. Также определялись углы наклона оттяжек, под которыми результирующая сила сопротивления действовала на систему. В процессе эксперимента варьировалась скорость потока в диапазоне от 0,5 до 2,5 м/с. Полученные данные предназначены для последующего расчёта коэффициента сопротивления c_x, являющегося ключевым параметром при гидродинамическом описании таких объектов, как траловые мешки.

Проведённое исследование представляет собой часть более широкой задачи по оптимизации конструкции траловых орудий лова, направленной на снижение сопротивления среды, уменьшение энергозатрат и повышение стабильности тралового профиля при эксплуатации в реальных морских условиях.

Цель и задачи

Форма тралового мешка оказывает определяющее влияние на его гидродинамическое поведение в потоке. При изменении скорости потока один и тот же траловый мешок меняет свои гидродинамические характеристики, вследствие этого возникает эффект гидроподпора,

который нарушает оптимальную (цилиндрическую) форму тралового мешка. На рис. 1–2 представлены примеры форм тралового мешка, возникающих при увеличении потока. Можно заметить, что на рис. 2 нарушается сплошность мешка, и он приобретает форму груши. При данной форме тралового мешка возникает эффект гидроподпора, что приводит к снижению уловистости.

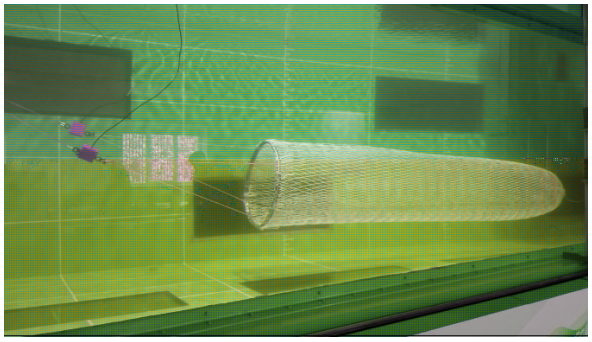

Рис. 1. Оптимальная форма
Fig. 1. Optimal form

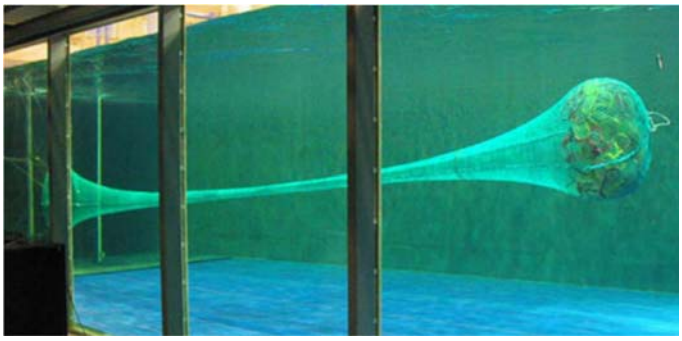

Рис. 2. Неоптимальная форма
Fig. 2. Suboptimal form

Целью данной работы является проведение экспериментального исследования гидродинамических характеристик и формы тралового мешка в условиях гидроканала. Объектом исследования выступает траловый мешок, закреплённый на жёстких обручах, с шагом ячеи 60 мм. Предметом исследования являются параметры натяжения в оттяжках и характеристики силы сопротивления при различных режимах скорости потока.

Гидродинамическое сопротивление сетных орудий лова является ключевым аспектом при проектировании траловых мешков. Гидродинамическая сила возникает при движении объекта относительно окружающей его среды, при знании направления и величины этих сил можно регулировать габаритные характеристики орудия лова, а также предугадывать его влияние на объекты лова и его поведение в среде.

Нами был проведен анализ следующих исследований: Зын Ван Вэ изучал сопротивления конусных сетей при движении в воде [1], Дверник А. В. занимался совершенствованием методики расчёта сопротивления рыболовного трала [2], Фонарев А. Л. исследовал сопротивление конусных сетей [3], Ченг З. в своем исследовании предложил использовать безразмерный параметр, отражающий степень раскрытия ячейки в динамических условиях и демонстрировал, что гидродинамические параметры являются не просто техническими характеристиками, а ключевыми индикаторами функциональности [4], Диксон В. разработал аналитическую модель, представляющую траловый мешок в виде эллиптического конуса, параметры которого определяются на основе промысловых размеров [5].

В представленных научных исследованиях тема зависимости гидродинамических характеристик от формы не имело достаточно подробного изучения, однако, по нашему мнению, рассмотрение данной зависимости имеет большое значение для определения оптимальной формы мешка, способствующей повышению уловистости.

Материалы и методы

С целью получения экспериментальных данных зависимостей гидродинамического сопротивления тралового мешка от его формы был изготовлен однопластный траловый мешок из полиамидной дели с шагом ячеи a=60 мм, диаметром нити d=2,5 мм, количеством ячей по длине n=30 ячей и количеством ячей по высоте m=90 ячей. Траловый мешок изготавливался методом соединения одной стороны дели с другой, без шворочных швов, далее посажен на обруч и зафиксирован шнуром (рис. 3).

Рис. 3. Траловый мешок, посаженный на обруч. Фото сделано авторами
Fig. 3. Trawl cod-end set on a hoop. Photo taken by the authors

На рис. 4 приводится схема проведения эксперимента с траловым мешком в гидроканале «Фишеринг Сервис». Траловый мешок крепится к обручу, к обручам – оттяжки, к оттяжкам – тензодатчики, тензодатчики показывают натяжение, с помощью полученного сопротивления рассчитывается коэффициент сопротивления.

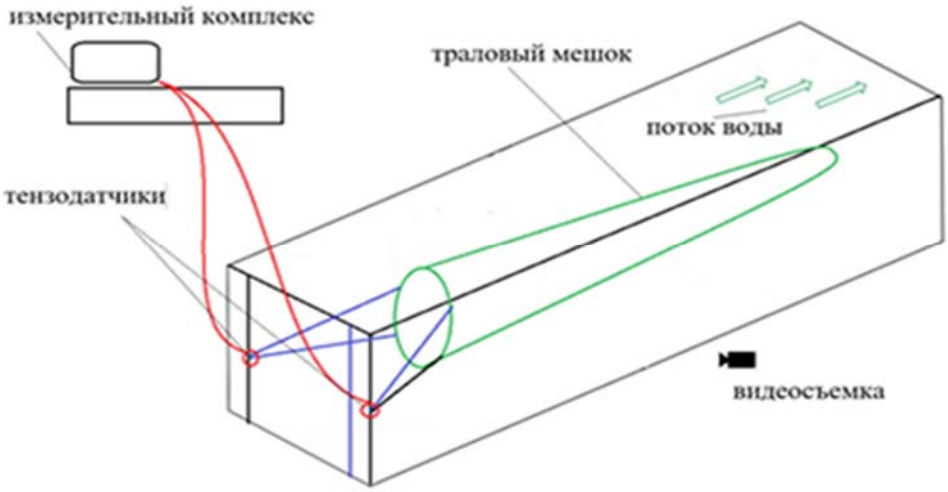

Рис. 4. Схема эксперимента с траловым мешком [6]. Составлено авторами
Fig. 4. Scheme of the experiment with a trawl cod-end [6]. Compiled by the authors

Сопротивление сетных конусов в гидроканале измерялось на скоростях потока воды 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 м/с. Всего было произведено 12 испытаний тралового мешка.

Формулы расчета R_x и c_x представлены в следующем виде:

$$R_x = cos\,\alpha(T1 + T2). \quad (1)$$

$$c_x = \frac{2R_x}{\rho v^2 F_н}, \quad (2)$$

где R_x – гидродинамическое сопротивление, Н; $T1$ – натяжение, Н; $T2$ – натяжение, Н; α – угол наклона оттяжек; c_x – коэффициент гидродинамического сопротивления; ρ – плотность воды, кг/м^3; v – скорость потока, м/с; $F_н$ – площадь ниток м^2.

Для определения гидродинамического коэффициента c_x необходимо также рассчитать площадь ниток $F_н$.

Формула расчета площади ниток $F_н$:

$$F_н = F_г F_0, \quad (3)$$

где $F_г$ – габаритная площадь, м^2; F_0 – сплошность тралового мешка.

Формула расчета габаритной площади $F_г$:

$$F_г = LHu_x u_y, \quad (4)$$

где L – длина тралового мешка, мм; H – высота тралового мешка, мм; u_x – коэффициент посадки по горизонтали; u_y – коэффициент посадки по вертикали.

Формула расчета сплошности тралового мешка F_0:

$$F_0 = \frac{d}{a}\frac{1}{u_x u_y}. \quad (5)$$

Формулы расчета коэффициента посадки u_x и u_y:

$$u_x = \frac{\pi D}{L}, \quad (6)$$

где D – диаметр обруча, мм;

$$u_y = \sqrt{1 - u_x^2}. \quad (7)$$

Полученные значения габаритной площади $F_г$, сплошности F_0, коэффициент посадки по горизонтали u_x, коэффициент посадки по вертикали u_y и площади ниток $F_н$ указаны в табл. 1.

Таблица 1

Полученные значения, необходимые для определения коэффициента гидродинамического сопротивления c_x

Table 1

The values obtained are necessary for determining the coefficient of hydrodynamic resistance cx

$F_г$, м^2	F_0	u_x	u_y	$F_н$, м^2
11,30	0,14	0,30	0,952	1,62
16,16	0,1	0,47	0,88	
18,01	0,09	0,56	0,83	

Полученные значения гидродинамического сопротивления R_x, коэффициента гидродинамического сопротивления c_x, числа Рейнольдса Re, угла наклона оттяжек $\alpha 1$ и $\alpha 2$, град, диаметра тралового мешка в трех точках D1, D2, D3 (рис. 5), мм, длины тралового мешка L, с различной скоростью при диаметрах обруча $D_{об}$ = 350 мм, 540 мм, 640 мм указаны в табл. 2, 3, 4.

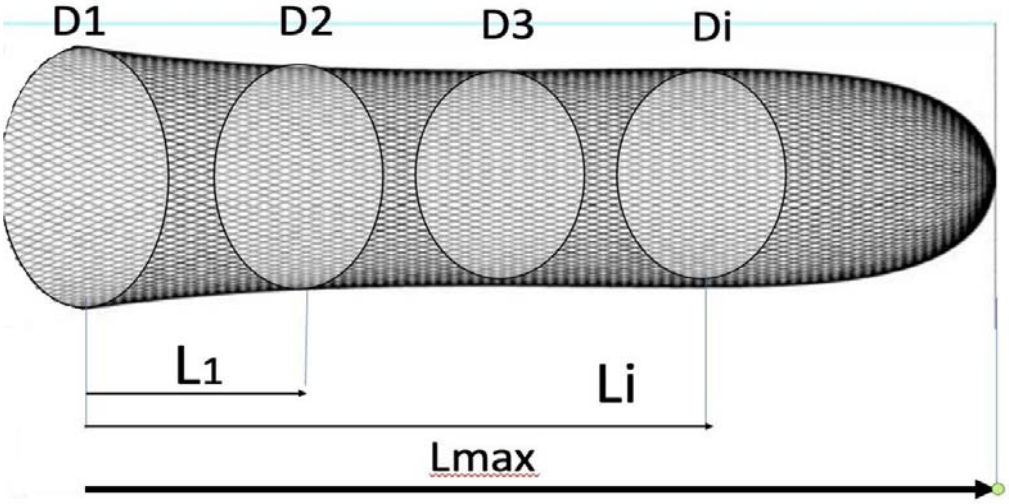

Рис. 5. Схема эксперимента с траловым мешком. Составлено авторами
Fig. 5. Scheme of the experiment with a trawl cod-end. Compiled by the authors

Таблица 2

Полученные значения при проведении эксперимента с $D_{об}$ = 350 мм

Table 2

The values obtained during the experiment with $D_{об}$ = 350 mm

$D_{об}$, мм	*v*, м/с	Re, 10^3	*α*1, *α*2, град	R_x, Н	c_x, 10^{-3}	D, мм			*L*, мм
						D1	D2	D3	
350	0,5	1,3	27	4,8	24,0	348	380	430	3411
	1	2,5	10	9,7	12,0	348	375	434	3460
	1,5	3,7	2	15,6	8,6	348	385	445	3451
	2	5,0	1	25,8	7,9	348	392	441	3449
	2,5	6,3	0	38,6	7,6	348	400	432	3437

Таблица 3

Полученные значения при проведении эксперимента с $D_{об}$ = 540 мм

Table 3

The values obtained during the experiment with $D_{об}$ = 540 mm

$D_{об}$, мм	*v*, м/с	Re, 10^3	*α*1, *α*2, град	R_x, Н	c_x, 10^{-3}	D, мм			*L*, мм
						D1	D2	D3	
540	0,5	1,3	23	5,2	26,0	582	567	585	3529
	1	2,5	6	10,3	13,0	582	565	561	3362
	1,5	3,7	3	19,6	11,0	582	577	572	3349
	2	5,0	1	32,0	9,9	582	586	577	3413
	2,5	6,3	0	48,7	9,6	582	587	605	3395

Таблица 4

Полученные значения при проведении эксперимента с $D_{об}$ = 640 мм

Table 4

The values obtained during the experiment with $D_{об}$ = 640 mm

$D_{об}$, мм	*v*, м/с	Re, 10^3	*α*1, *α*2, град	*Rx*, Н	c_x, 10^{-3}	D, мм			*L*, мм
						D1	D2	D3	

640	0,5	1,3	27	5,0	25,0	683	647	596	3445
	1	2,5	5	11,9	15,0	683	651	603	3430
	1,5	3,7	2	20,3	11,0	683	663	618	3365
	2	5,0	2	34,9	11,0	683	660	643	3440
	2,5	6,3	0	53,7	11,0	683	646	635	3345

На основе полученных значений коэффициента гидродинамического сопротивления c_x можно сделать вывод, что при увеличении скорости потока v, коэффициент c_x уменьшается.

Для того чтобы показать зависимость коэффициента c_x от числа Рейнольдса при различной скорости потока, была построена зависимость, указанная на рис. 6, где *cx*D1, *cx*D2, *cx*D3 – гидродинамический коэффициент сопротивления при разных диаметрах обруча.

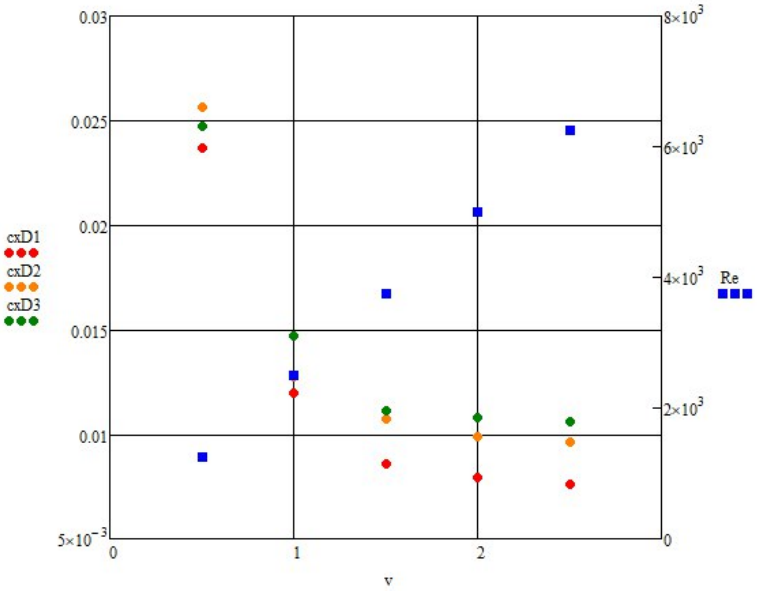

Рис. 6. Экспериментальные данные коэффициента c_x от числа Рейнольдса при $D_{об}$ = 350 мм, 540 мм, 640 мм. Составлено авторами

Fig. 6. Experimental data on the coefficient cx of the Reynolds number at $D_{об}$ = 350 mm, 540 mm, 640 mm. Compiled by the authors

На рис. 7 показана зависимость диаметра от длины, Dv – диаметр тралового мешка на различном расстоянии от $D_{об}$, в зависимости от скорости потока v; Lmax – длина тралового мешка в зависимости от скорости потока, Li – длина между измеряемыми диаметрами тралового мешка.

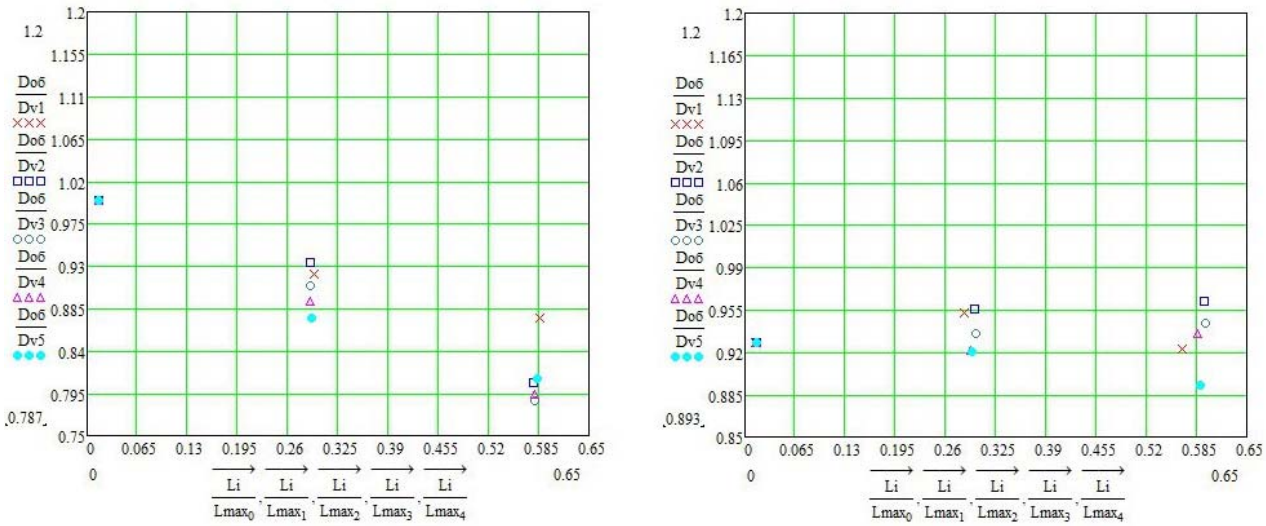

Рис. 7. Экспериментальные значения $D_{об}/Dv$ от Li/Lmax при $D_{об}$ = 350 мм, $D_{об}/Dv$ от Ld/Li при $D_{об}$ = 540 мм. Составлено авторами

Fig. 7. Experimental values of $D_{об}/Dv$ from Li/Lmax at $D_{об}$ = 350 mm, $D_{об}/Dv$ from Ld/Li at $D_{об}$ = 540 mm. Compiled by the authors

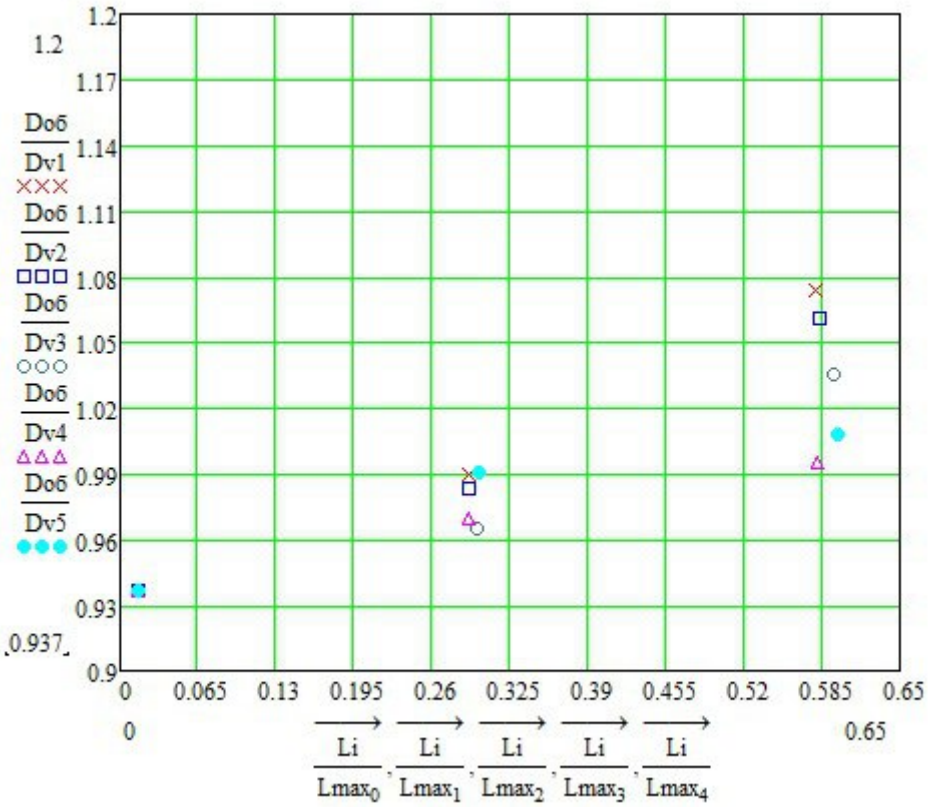

Рис. 8. Экспериментальные значения $D_{об}/Dv$ от Li/Lmax при $D_{об}$ = 640 мм. Составлено авторами

Fig. 8. Experimental values $D_{об}/Dv$ from Li/Lmax at $D_{об}$ = 640 mm. Compiled by the authors

Результаты и обсуждение

Исходя из полученной зависимости на рис. 6, можно сделать вывод, что при увеличении числа Рейнольдса уменьшается гидродинамический коэффициент сопротивления вне зависимости от диаметра обруча.

Проанализировав полученные графики зависимостей диаметра от длины, изображенные на рис. 7, можно установить следующие выводы. При наименьшем диаметре обруча наблюдается наибольшее отклонение отношения $D_{об}/Dv$ от оптимального значения, равного единице. Наилучший эффект для аккумулирования улова достигается при форме идеального цилиндра, когда значения отношения по всей длине тралового мешка стремятся к единице, тогда диаметр тралового мешка по всей его длине остается неизменным, что позволяет достичь идеальной цилиндрической формы.

На рис. 7, при наименьшем диаметре обруча, равном 350 мм, можно увидеть, что все значения зависимости стремятся от единицы по убыванию, что является нарушением формы тралового мешка по всей его длине. Вследствие этого появляется эффект гидроподпора, из-за чего ухудшается аккумулирующее свойство тралового мешка. При диаметре обруча, равном 540 мм, в отличие от предыдущего графика, несколько значений стремятся к единице, но скорость потока при этих значениях равна 1 и 1,5 м/с, что не соответствует средней скорости траления.

Однако на рис. 8, при наибольшем диаметре обруча, равном 640 мм, все значения стремятся к единице. Даже при максимальной скорости потока, равной 2,5 м/с, что является приближенной к средней скорости траления, зависимость стремится к единице, а значит, диаметр тралового мешка, по всей его длине, остается постоянным. Из этого можно сделать вывод, что чем больше устье тралового мешка, тем эффективнее достигается идеальная цилиндрическая форма.

Заключение

В ходе исследования подтверждено решающее влияние геометрии тралового мешка на его гидродинамические свойства. Эксперименты показали количественные зависимости между параметрами конструкции и сопротивлением потоку, что имеет практическое значение для проектирования эффективных орудий лова.

Установлено, что нарушение формы (например, грушевидность) вызывает гидроподпор и снижает уловистость. Цилиндрическая форма, при которой диаметр мешка остаётся постоянным, обеспечивает равномерное сопротивление и лучшую аккумуляцию улова. Это подтверждено зависимостями $D_{об}/Dv$ от $Li/Lmax$ – при увеличении диаметра обруча значения стремятся к единице.

Измерения в гидроканале показали закономерное уменьшение коэффициента сопротивления c_x с увеличением числа Рейнольдса. Даже небольшие изменения диаметра обруча заметно влияют на c_x и форму мешка. При диаметре 640 мм сохраняется почти идеальная цилиндрическая форма даже на высоких скоростях, что делает такую конструкцию оптимальной.

Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования траловых систем с учётом оптимальных гидродинамических характеристик. Цели работы достигнуты: проведены расчёты и эксперименты, выявлены зависимости и определены оптимальные параметры, обеспечивающие максимальную эффективность тралового мешка.

Список источников

1. Зын Ван Вэ. Исследование сопротивления конусных сетей при движении в воде / Зын Ван Вэ: дис. … канд. техн. наук. Калининград : КТИРПХ, 1966. 213 с.

2. Дверник, А. В. Совершенствование методики расчёта сопротивления рыболовного трала: дис. … канд. техн. наук / А. В. Дверник. Калининград : КТИРПХ, 1971. 255 с.

3. Фонарев, А. Л. и др. Сопротивление конусных сетей. Гидромеханика орудий лова: сборник научных трудов. Калининград : КГТУ, 2000. С. 109–114.

4. Cheng Z., Winge, P. D., Bays, S. M, & Kell, D. Hydrodynamic Performance of Full-Scale T0 and T90 Codends with and without a Codend Cover // Journal of Marine Science and Engineering. 2022. 10(3). 440.

5. Dickson W. (1979). Trawl Drag Area and Netting Geometry. ICES CM 1979/B:26. International Council for the Exploration of the Sea, Fishing Technology Committee.

6. Theory of loading of synthetic fishing materials / A. A. Nedostup, A. O. Razhev, P. V. Nasenkov [et al.] // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2023. No. 1. P. 124–136. DOI 10.24143/2073–5529-2023-1-124-136. – EDN LRJBQK.

Сведения об авторах

Д. А. Красаускас – студент кафедры промышленного рыболовства.

Г. А. Еремеев – студент кафедры промышленного рыболовства.

А. А. Недоступ – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыболовства.

К. В. Коновалова – сотрудник кафедры промышленного рыболовства.

П. В. Насенков – сотрудник кафедры промышленного рыболовства.

Information about the authors

D. A. Krasauskas – Student of the Department of Industrial Fisheries.

G. A. Eremeev – Student of the Department of Industrial Fisheries.

A. A. Nedostup – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Industrial Fisheries.

K. V. Konovalova – Specialist of the Department of Industrial Fisheries.

P. V. Nasenkov – Specialist of the Department of Industrial Fisheries.

Статья поступила в редакцию 08.12.2025; одобрена после рецензирования 20.01.2026; принята к публикации 20.01.2026.

The article was submitted 08.12.2025; approved after reviewing 20.01.2026; accepted for publication 20.01.2026.

© Красаускас Д. А., Еремеев Г. А., Недоступ А. А., Коновалова К. В., Насенков П. В., 2026.

«Исследование гидродинамики и формы тралового мешка» [Красаускас Д. А., Еремеев Г. А., Недоступ А. А., Коновалова К. В., Насенков П. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).