

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, МАШИНЫ И АППАРАТЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

TECHNOLOGICAL PROCESSES, MACHINES AND APPARATUS FOR PROCESSING AQUATIC BIORESOURCES

Научная статья
УДК 639.2.081.1
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-1-102-111>
EDN SMTNQM

Оценка сопротивления траловых мешков с делью T0, T90

Карина Витальевна Коновалова

*Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия, karina.konovalova@klgtu.ru*

Аннотация. Трудность проектирования трала обуславливается тем, что его характеристики должны не только учитывать особенности распределения и поведения объекта лова, но и соответствовать тяге лебедок и траулера. Для этого проектировщик должен как можно более точно рассчитать сопротивление траловой системы, которое складывается из сопротивления канатно-сетной части, деталей оснастки, траловых досок, ваеров и пр. Цель настоящей работы – определить сопротивление траловых мешков для разноглубинного трала 18/95 м с различным поворотом ромбовидной дели: T0, T90, где T0 – стандартное положение ячеи, T90 – ячея, повернутая на 90°. Были проведены эксперименты в гидроканале ООО «Фишеринг Сервис». Модель тралового мешка, закрепленная на обруче, который обеспечивает раскрытие с заданной посадкой u_x , располагалась в исследовательском и экспериментальном секторе, а навстречу ей двигался поток воды. Скорость потока устанавливалась в диапазоне от 1,2 до 2,5 м/с. Как только скорость потока становилась постоянной и траловый мешок принимал правильную форму, с помощью тензодатчиков определялось сопротивление модели. Эксперименты в гидроканале включали в себя визуальное наблюдение за раскрытием ячей и изменением формы мешка и получение экспериментальных данных для определения гидродинамического коэффициента сопротивления для каждого тралового мешка. Полученные данные показали, что при повороте дели на 90° ячеи раскрыты больше, чем в стандартном положении, и за счет этого гидродинамический коэффициент сопротивления у тралового мешка с ячеей T90 меньше, чем у мешка с ячеей с T0.

Ключевые слова: ячея, сопротивление, траловый мешок, гидродинамический коэффициент сопротивления

Благодарности: исследование проводилось в рамках выполнения РНФ 25-21-00008 «Физическое, математическое и компьютерное моделирование сетных инженерных конструкций с учетом внешних факторов воздействия». Автор выражает благодарность директору компании ООО «Фишеринг-Сервис» А. Н. Федорову за предоставление гидроканала.

Для цитирования: Коновалова К. В. Оценка сопротивления траловых мешков с делью T0, T90 // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2025. № 1. С. 102–111. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-1-102-111>. EDN SMTNQM.

Assessment of resistance of trawl cod-ends with netting T0, T90

Karina V. Konovalova

*Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russia, karina.konovalova@klgtu.ru*

Abstract. The difficulty of trawl design is due to the fact that its characteristics must take into account not only the distribution and behavior of the object to be fished, but also match the trawler's and the trawler's propulsion. For this purpose, the designer must calculate as accurately as possible the resistance of the trawl system, which consists of the resistance of: rope-net part, rigging parts, trawl boards, varers, etc. The purpose of the present work is to determine the resistance of trawl cod-end for the 18/95 m trawl with different rotation of the diamond-shaped netting: T0, T90, where T0 is the standard position of the mesh, T90 is the mesh rotated by 90°. For this purpose, the author of the work carried out experiments in the hydrochannel of "Fishing Service". The model of a trawl cod-end, fixed on a hoop, which provides opening with a given fit u_x , was located in the research and experimental sector, and the water flow moved towards it. The flow velocity was set between 1.2 and 2.5 m/s. Once the flow velocity became constant, the author ensured that the trawl cod-end took the correct shape and then used strain gauges to determine the resistance of the model. The experiments in the hydro-cone included: visual observation of mesh opening and cod-end shape changes and obtaining experimental data to determine the hydrodynamic drag coefficient for each trawl cod-end. The netting obtained showed that when the netting is rotated by 90° the mesh's are opened more than in the standard position and due to this the hydrodynamic coefficient of the trawl cod-end with T90 mesh is smaller than with T0.

Keywords: mesh opening, resistance, trawl code-ent model, hydrodynamic coefficient of resistance

Acknowledgment: the research was carried out within the framework of the RSF 25-21-00008 "Physical, mathematical and computer modeling of netting engineering structures taking into account external influence factors". The author would like to thank the director of "Fishing Service" LLC A. N. Fedorov for providing the hydrochannel.

For citation: Konovalova K. V. Assessment of resistance of trawl cod-end with netting T0, T90. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry.* 2025;1:102-111. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-1-102-111>. EDN SMTNQM.

Введение

Трал представляет собой конусообразный сетной буксируемый мешок, изготовленный из сетей и канатов [1].

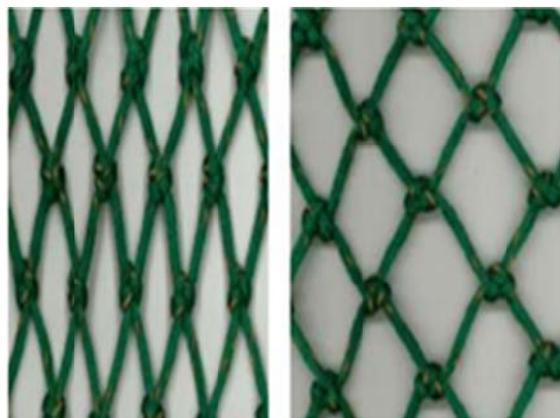
Конструктивно трал имеет три части: канатную часть, канатно-сетную и траловый мешок.

Траловые мешки (ТМ) являются аккумулялирующими устройствами разноглубинных и донных тралов. Вследствие простой конструкции из-за давления воды на улов во время траления ТМ с положением ячеи T0 (стандартное положение ячеи) подвержен искажению и, следовательно, основная масса деля растягивается, при этом уменьшается открытость ячеи для выхода прилова.

В 90-х гг. учеными был предложен новый подход к расположению ячеи – T90.

Конструкция T90 основана на типичной ромбовидной делье, но ее необходимо повернуть на 90° (рис. 1).

Многие ученые (N. Graham, F. G. O'Neill [2], H. Wienbeck и В. Herrmann [3], W. Moderhak [4], А. А. Недоступ [5, 6] и др.) провели ряд исследований для оценки влияния поворота ячеи на 90° (T90) и утверждают, что такая делья имеет улучшенные селективные свойства траловых мешков при облове путассу или других гидробионтов, при этом выловленная рыба меньше деформируется.



a

б

Рис. 1. Форма ячеи T0 (*a*) и T90 (*б*)

Fig. 1. Mesh shape T0 (*a*) and T90 (*б*)

Необходимо отметить, что в основном эти исследования были посвящены изучению селективных свойств дельи T90, и в большинстве работ, которые приведены выше, рассматриваются простые схематизации элементарной ячеи с масштабированием впоследствии данной схематизации на всю конструкцию ТМ, что ведет к неточностям в расче-

тах геометрических и силовых характеристик и неверному обоснованию раскрытия ячеи и самого ТМ [6].

Цель и задачи

Отметим, что главная сложность проектирования инженерного сооружения в промышленном рыболовстве заключается в том, что характеристики разрабатываемого орудия лова должны не только учитывать особенности распределения и поведения объекта лова, но и соответствовать располагаемой тяге судна.

Гидродинамическое сопротивление сетных орудий лова является ключевым аспектом при проектировании рыболовных систем.

Гидродинамическая сила возникает при движе-

нии 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 [7].

Цель настоящей работы состоит в сравнении гидродинамического сопротивления ТМ с различным поворотом ячеи: Т0, Т90.

Для определения раскрытия ячеи по чертежам разноглубинного трала 18/95 м были изготовлены две модели четырехпластных мешков с различной ориентацией дели Т0, Т90: с шагом ячеи $a = 8,0$ мм и диаметром нити $d = 1,0$ мм, количеством ячеи по высоте ТМ $m = 200$ шт. и его длине $n = 320$ шт. (рис. 2) [8].

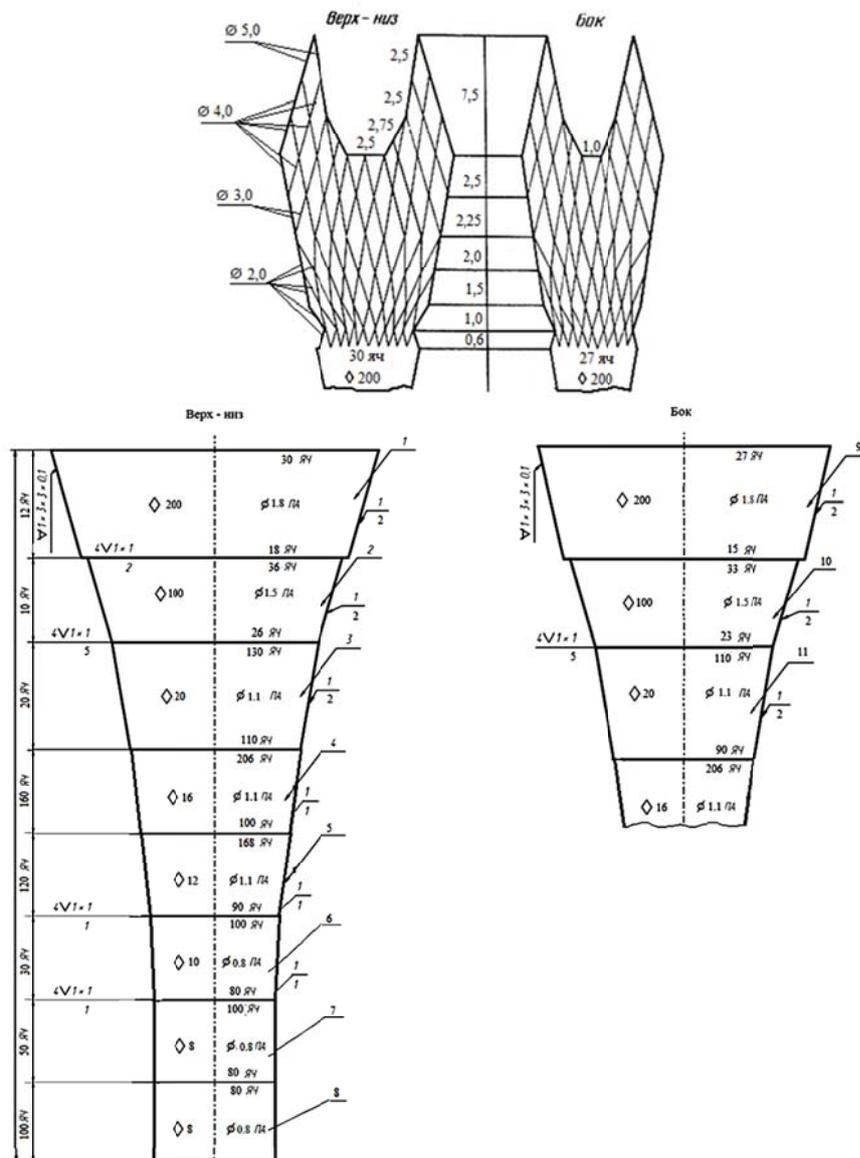


Рис. 2. Модель разноглубинного трала 18/95 м

Fig. 2. Midwater trawl model 18/95 m

Далее, модели ТМ верхней кромкой рассаживались на металлические обручи разного диаметра: $D_1 = 350$ мм; $D_2 = 540$ мм; $D_3 = 640$ мм, которые

обеспечивают раскрытие с заданной посадкой u_x (рис. 3).

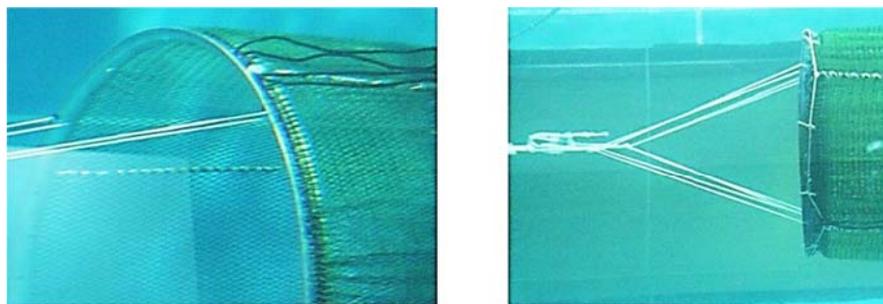


Рис. 3. Посадка тралового мешка на обручи $D_2 = 540$ мм (а) и $D_1 = 350$ мм (б)

Fig. 3. Landing TC on hoops $D_2 = 540$ mm (a) and $D_1 = 350$ mm (b)

Материал и методика

Установлено, что гидродинамический коэффициент сопротивления траловой оболочки зависит от следующих параметров [9]:

$$c_x = f(\text{Re}, F_0, \alpha),$$

где Re – число Рейнольдса; F_0 – сплошность траловой оболочки; α – угол атаки меридиана траловой оболочки.

Число Рейнольдса (Re) можно определить, используя формулу

$$\text{Re} = \frac{vd}{\nu},$$

где d – диаметр нити, мм; v – скорость движения воды, м/с; ν – коэффициент кинематической вязкости воды, $\text{м}^2/\text{с}$.

Сила сопротивления R_x ниток сетной оболочки

в водной среде в общем виде выражается следующей формулой [9]:

$$R_x = c_x \frac{\rho v^2}{2} F_n, \quad (1)$$

где c_x – гидродинамический коэффициент сопротивления ТМ; ρ – плотность воды ($1000 \text{ кг}/\text{м}^3$); v – скорость движения воды, м/с; F_n – площадь ниток ТМ, м^2 .

Из формулы (1) следует, что c_x можно найти по формуле

$$c_x = \frac{2R_x}{\rho v^2 F_n}. \quad (2)$$

С целью определения гидродинамического коэффициента сопротивления ТМ были проведены эксперименты в гидроканале ООО «Фишеринг Сервис» (рис. 4).



Рис. 4. Гидроканал ООО «Фишеринг-Сервис»

Fig. 4. Hydrochannel of Fishing Service LLC

Эксперименты в гидроканале позволяют сформировать поток по всему объему канала, имитируя буксировку ТМ. Скорость потока можно регулировать от 0 до 2,5 м/с, задавая данные с пульта

управления потоком воды. Над рабочим участком в пульте управления расположены приборы контроля и аппаратура управления характеристиками потока (рис. 5).

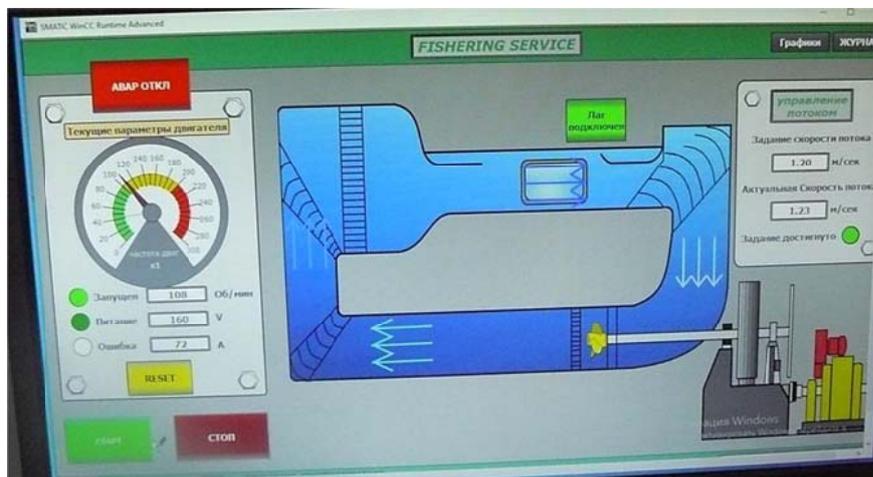


Рис. 5. Пульт управления потоком воды в гидроканале

Fig. 5. Control panel for water flow in the hydraulic channel

Обруч с расположенной на нем моделью был установлен параллельно тензодатчикам, что нивели-

рует угол атаки меридиана ТМ (рис. 6).

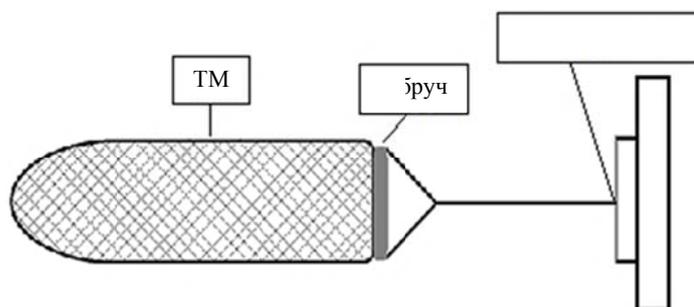


Рис. 6. Схема расположения тралового мешка в гидроканале ООО «Фишеринг Сервис»

Fig. 6. Diagram of the trawl bag location in the hydraulic channel of Fishing Service LLC

Известно, что сплошность сетной части трала определяется по формуле

$$F_0 = \frac{d}{a} \frac{1}{u_x u_y}, \quad (3)$$

где a – шаг ячеи, мм; u_x – горизонтальный коэффициент посадки; u_y – вертикальный коэффициент посадки.

При заданном диаметре устья ТМ определим коэффициенты посадки u_x и u_y по формулам

$$u_x = \frac{\pi D}{L}; \quad (4)$$

$$u_y = \sqrt{1 - u_x^2}, \quad (5)$$

где D – диаметр обруча, м; L – длина ТМ, м.

Для определения площади ниток ТМ необходимо умножить сплошность ТМ на габаритную площадь F_r :

$$F_r = L H u_x u_y, \quad (6)$$

где H – высота ТМ, м.

Также в ходе экспериментов велось видеонаблюдение, что позволило визуально оценить форму ТМ при различном положении дели четырехпластного мешка (рис. 7, 8).

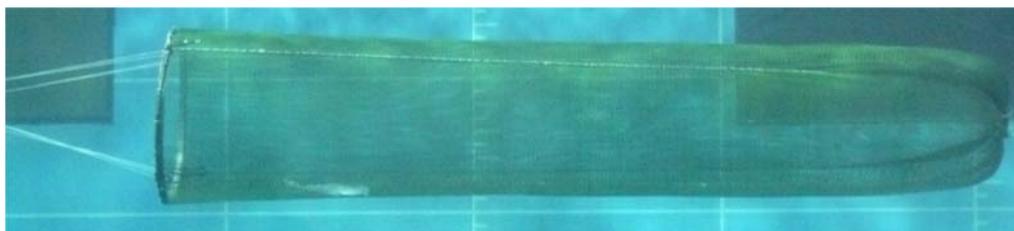


Рис. 7. Форма тралового мешка T0 при $D_2 = 540$ мм

Fig. 7. Form T0 at $D_2 = 540$ mm

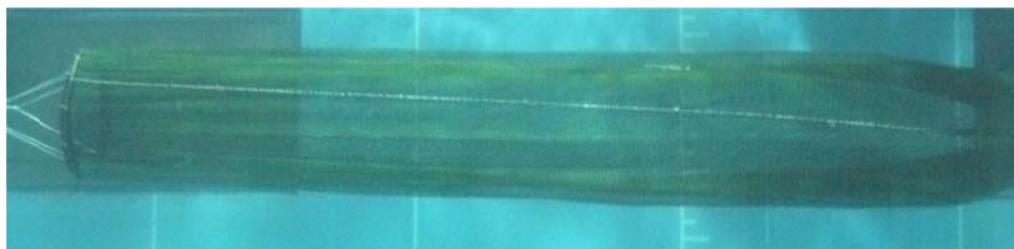


Рис. 8. Форма тралового мешка T0 при $D_1 = 350$ мм

Fig. 8. Form T0 at $D_1 = 350$ mm

Проведенные эксперименты наглядно демонстрируют, что конструкция ТМ оказывает существенное влияние на геометрию ячеи. Визуально заметна разница в распределении нагрузки в моделях ТМ с дельтой T0, T90.

Также было выявлено непропорциональное распределение продольной нагрузки по ТМ в связи с тем, что шворочные швы имитируют роль каркаса сетной конструкции и часть продольной нагрузки приходится на них, что, в свою очередь, снимает нагрузку с ячеи ТМ. По результатам визуального исследования можно заключить, что с увеличением пластей в мешке увеличится и раскрытие ячеи [10].

Результаты

Для определения коэффициента сопротивления металлических обручей формулу (2) необходимо привести к следующему виду:

$$c_x = (2R_x) / (\rho v^2 S),$$

где S – площадь обруча, m^2 .

Площадь обруча находится по формуле

$$S = (\pi(D^2 - D_0^2)) / 4,$$

где D_0 – внутренний диаметр обруча, мм.

Полученные экспериментальные расчетные данные были сведены в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

Экспериментальные и расчетные данные обручей

Experimental and calculated hoop data

D , мм	$S \cdot 10^{-3}$, m^2	v , м/с	R_x обруча, Н	c_x
350	5,42	1,2	3,2	0,8
		1,8	5,4	0,6
		2,5	15,2	0,8
540	8,4	1,2	3,8	0,6
		1,8	9,0	0,7
		2,5	22,0	0,8
640	9,75	1,2	4,2	0,6
		1,8	11,2	0,7
		2,5	25,8	0,8

С использованием данных, полученных в гидроканале, и формул (2)–(6), был определен гидродинамический коэффициент сопротивления для каж-

дого ТМ при разном диаметре обруча и скорости траления (табл. 2, 3).

Таблица 2

Table 2

Расчетные данные тралового мешка с делью Т0
 Calculated data of the trawl cod-end with netting T0

D , мм	v , м/с	$R_{x, \text{обм}}$, Н	R_{xz} , Н	$c_x \cdot 10^{-3}$
350	1,2	16,8	13,6	9,22
	1,8	24,8	19,4	5,85
	2,5	39,7	24,5	3,83
540	1,2	21,0	17,2	12,00
	1,8	33,0	24,0	7,23
	2,5	53,3	31,3	4,89
640	1,2	23,6	19,4	13,00
	1,8	39,0	27,8	8,38
	2,5	63,0	37,2	5,81

Таблица 3

Table 3

Расчетные данные тралового мешка с делью Т90
 Calculated data of a trawl cod-end with netting T90

D , мм	v , м/с	$R_{x, \text{обм}}$, Н	R_{xz} , Н	$c_x \cdot 10^{-3}$
350	1,2	15,4	12,2	8,27
	1,8	22,0	16,6	5,00
	2,5	38,0	22,8	3,56
540	1,2	18,8	15,0	10,00
	1,8	30,4	21,4	6,45
	2,5	51,4	29,4	4,59
640	1,2	23,0	18,8	13,00
	1,8	37,6	26,4	7,96
	2,5	62,0	36,2	5,66

Для полученных данных были построены зависимости R_x от v (рис. 9, 10) при различном диаметре обруча.

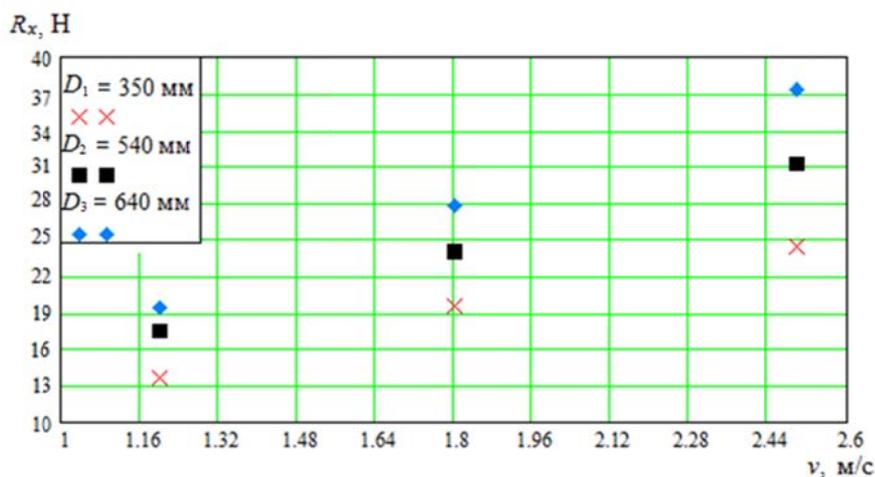


Рис. 9. Зависимость R_x от v для тралового мешка с делью Т0

Fig. 9. Dependence of R_x on v for TC with T0

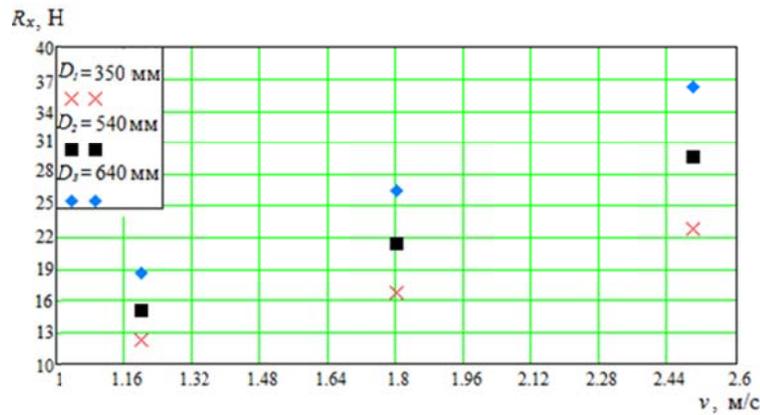


Рис. 10. Зависимость R_x от v для тралового мешка с делью T90

Fig. 10. Dependence of R_x on v for TC with T90

На рис. 11 и 12 изображены графики зависимости гидродинамического коэффициента сопротивления трала с делью T0 и T90 от числа Рейнольдса.

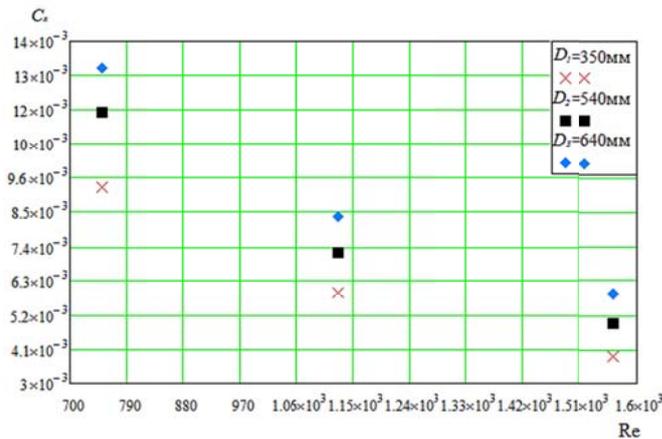


Рис. 11. Зависимость c_x от Re для тралового мешка с делью T0

Fig. 11. Dependence of c_x on Re for TC with T0

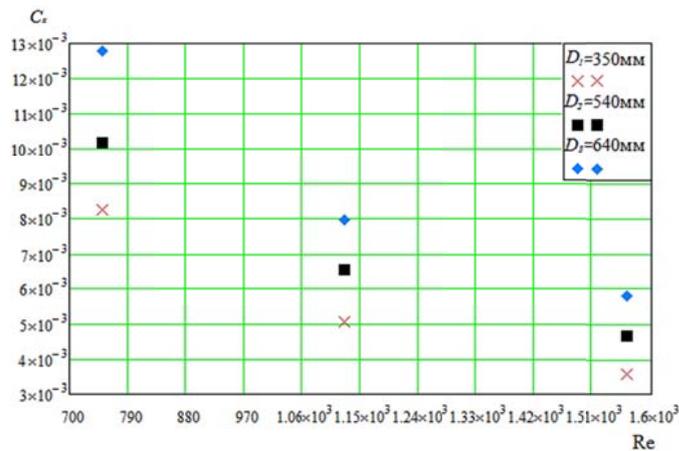


Рис. 12. Зависимость c_x от Re для тралового мешка с делью T90

Fig. 12. Dependence of c_x on Re for TC with T90

Таким образом, при разных диаметрах обруча и различной скорости траления модель с делью Т90 имеет меньший гидродинамический коэффициент сопротивления, чем модель Т0 (см. рис. 9, 10).

Следует отметить, что фото и видеоматериалы для определения точных параметров формы ячеи непригодны, т. к. неизвестный радиус кривизны поверхности ТМ искажает ее фактический размер на снимке.

Заключение

В статье представлен алгоритм расчета гидродина-

мического коэффициента сопротивления тралового мешка с делью Т0, Т90. По результатам проведенных экспериментов можно утверждать, что конструкция тралового мешка оказывает существенное влияние на форму ячеи, а с увеличением скорости траления и диаметра обруча увеличивается и гидродинамический коэффициент сопротивления.

При сравнении моделей с различной ориентацией ячеи было доказано, что при повороте дели на 90° ячея остается открытой, в связи с чем гидродинамический коэффициент сопротивления тралового мешка уменьшается.

Список источников

1. Фридман А. Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1981. 327 с.
2. Graham N., O'Neill F. G., Fryer R. J., Galbraith R. D., Myklebust A. Selectivity of a 120 mm diamond codend and the effect of inserting a rigid grid or a square mesh panel // *Fisheries Research*. 2004. V. 67. P. 151–161.
3. Herrmann B., Wienbeck H., Moderhak W., Stepputtis D., Krag L. The influence of twine thickness, twine number and netting orientation on codend selectivity // *Fisheries Research*. 2013. V. 145. P. 22–36.
4. Moderhak W. A theoretical approach to selectivity of cod-ends // *Contributions on the Theory of Fishing Gears and Related Marine Systems*. 2003. V. 3. P. 105–116.
5. Недоступ А. А., Коновалова К. В., Насенков П. В., Ражев А. О., Альтшуль А. Б., Федоров С. В. Относительная жесткость рыболовных крученых изделий // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство*. 2020. № 1. С. 46–60.
6. Недоступ А. А., Коновалова К. В., Наумов В. А. Численное решение задачи определения конструктивных, геометрических и силовых характеристик элементарной ячеи // XX Междунар. Балт. мор. форум (Калининград, 26 сентября – 01 октября 2022 г.): сб. тр. в 7 т. Калининград: Изд-во КГТУ, 2022. Т. 2. С. 245–249.
7. Осипов Е. В. Моделирование рыболовных систем на основе объектно-ориентированных технологий: дис. ... д-ра техн. наук. Владивосток, 2007. 242 с.
8. Недоступ А. А., Ражев А. О., Насенков П. В., Львова Е. Е., Сысенко В. В., Аскаров Д. В., Белозёр И. С. Экспериментальные исследования разноглубинного траля 18/95 м на оз. Виштынецкое // *Вопр. рыболовства*. 2023. Т. 24 (2). С. 92–98.
9. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкости. М.: Мир, 1991. Т. 1-2. 1054 с.
10. Недоступ А. А., Павленко А. А. Обоснование расчета характеристик траловых мешков // *Рыбное хозяйство*. 2011. № 2. С. 101–103.

References

1. Fridman A. L. *Teoriya i proektirovanie orudij promyshlennogo rybolovstva* [Theory and design of industrial fishing gear]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ., 1981. 327 p.
2. Graham N., O'Neill F. G., Fryer R. J., Galbraith R. D., Myklebust A. Selectivity of a 120 mm diamond codend and the effect of inserting a rigid grid or a square mesh panel. *Fisheries Research*, 2004, vol. 67, pp. 151-161.
3. Herrmann B., Wienbeck H., Moderhak W., Stepputtis D., Krag L. The influence of twine thickness, twine number and netting orientation on codend selectivity. *Fisheries Research*, 2013, vol. 145, pp. 22-36.
4. Moderhak W. A theoretical approach to selectivity of cod-ends. *Contributions on the Theory of Fishing Gears and Related Marine Systems*, 2003, vol. 3, pp. 105-116.
5. Nedostup A. A., Konvalova K. V., Nasenkov P. V., Razhev A. O., Al'tshul' A. B., Fedorov S. V. Otnositel'naya zhestkost' rybolovnykh kruchenykh izdelij [Relative rigidity of fishing twisted products]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hozyajstvo*, 2020, no. 1, pp. 46-60.
6. Nedostup A. A., Konvalova K. V., Naumov V. A. Chislennoe reshenie zadachi opredeleniya konstruktivnykh, geometricheskikh i silovykh harakteristik elementarnoj yachei [Numerical solution of the problem of determining the structural, geometric and power characteristics of a unit cell]. *XX Mezhdunarodnyj Baltijskij morskoy forum (Kaliningrad, 26 sentyabrya – 01 oktyabrya 2022 g.): sbornik trudov v 7 t.* Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2022. Vol. 2. Pp. 245-249.
7. Osipov E. V. *Modelirovanie rybolovnykh sistem na osnove ob'ektno-orientirovannykh tekhnologij. Dissertaciya ... d-ra tekhn. nauk* [Modeling of fishing systems based on object-oriented technologies. Dissertation of ... Doctor of Technical Sciences]. Vladivostok, 2007. 242 p.
8. Nedostup A. A., Razhev A. O., Nasenkov P. V., L'voва E. E., Sysenko V. V., Askarov D. V., Belozyor I. S. Eksperimental'nye issledovaniya raznoglubinnoho trala 18/95 m na oz. Vishtynetskoe [Experimental studies of an 18/95 m multi-depth trawl on the lake. Vishtynetskoe]. *Voprosy rybolovstva*, 2023, vol. 24 (2), pp. 92-98.
9. Fletcher K. *Vychislitel'nye metody v dinamike zhidkosti* [Computational methods in fluid dynamics]. Moscow, Mir Publ., 1991. Vol. 1-2. 1054 p.
10. Nedostup A. A., Pavlenko A. A. Obosnovanie rascheta harakteristik tralovykh meshkov [Justification for calculating the characteristics of trawl bags]. *Rybnoe hozyajstvo*, 2011, no. 2, pp. 101-103.

Статья поступила в редакцию 05.04.2024; одобрена после рецензирования 06.08.2024; принята к публикации 17.02.2025
The article was submitted 05.04.2024; approved after reviewing 06.08.2024; accepted for publication 17.02.2025

Информация об авторе / Information about the author

Карина Витальевна Коновалова – аспирант кафедры промышленного рыболовства; Калининградский государственный технический университет; karina.konovalova@klgtu.ru
Karina V. Konovalova – Postgraduate Student of the Department of Commercial Fishery; Kaliningrad State Technical University; karina.konovalova@klgtu.ru

