



Гидродинамика плетеных безузловых делей

DOI: 10.36038/0131-6184-2024-2-102-109

Научная статья
УДК 639.2.081; 639.3

Недоступ Александр Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыболовства, Калининград, Россия
E-mail: nedostup@klgtu.ru

Ражев Алексей Олегович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Калининград, Россия
E-mail: aleksej.razhev@klgtu.ru

Насенков Павел Владимирович – старший преподаватель кафедры промышленного рыболовства, Калининград, Россия
E-mail: pavel.nasenkov@klgtu.ru

Сергеев Егор Ильич – аспирант кафедры промышленного рыболовства, Калининград, Россия
E-mail: pyrojaeger@gmail.com

Пивоварова Юлия Сергеевна – аспирантка кафедры промышленного рыболовства, Калининград, Россия
E-mail: yuliya.pivovarova@klgtu.ru

Волошин Артур Александрович – магистрант кафедры промышленного рыболовства, Калининград, Россия
E-mail: arthur.voloschin@yandex.ru

Калининградский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «КГТУ»)

Адрес: Россия, 236022, г. Калининград, Советский проспект, д. 1

Аннотация. Сетные плетеные безузловые конструкции представляют собой орудия рыболовства и садки аквакультуры. Это сетные полотна, изготавливающиеся из высокопрочных нитей, веревок и шнуров без использования узлов. В качестве материала служат полиамидные и полиэтиленовые волокна. Производятся безузловые дели на специальных вязальных фабриках, которые работают в соответствии с технологией фиксации ячеек. На последнем этапе производства делей, они подвергается термической обработке, что обеспечивает им дополнительную прочность. Они надежнее, вес из-за отсутствия узловых соединений меньше, риск травмирования рыбы минимален, также проточность таких делей лучше, а водоросли и другие микроорганизмы не прирастают к ним. Безузловые сети имеют широкое применение в изготовлении садков, селективных вставок тралов, неводов и ловушек.

В статье рассмотрено применение численного метода для определения гидродинамических характеристик сетных полотен безузлового плетения при помощи разработанного авторами программного обеспечения. Была выполнена схематизация безузловой дели для создания математической модели, основанной на дифференциальных уравнениях в частных производных Навье-Стокса. Были установлены начальные и граничные условия для заданной расчетной области. Расчет проводился на регулярной расчетной сетке по неявной конечно-разностной схеме с применением методов покоординатного расщепления, линеаризации нелинейных уравнений с последующей коррекцией нелинейных коэффициентов, решением полученных трехдиагональных систем методом прогонки. Приводятся результаты численных экспериментов в виде визуализации давления на поверхности разных безузловых делей при различных углах атаки.

Ключевые слова: безузловая дель, программное обеспечение, гидродинамика, цифровые технологии

Для цитирования: Недоступ А.А., Ражев А.О., Насенков П.В., Сергеев Е.И., Пивоварова Ю. С., Волошин А.А. Гидродинамика плетеных безузловых делей // Рыбное хозяйство. 2024. № 2. С. 102-109.
DOI: 10.36038/0131-6184-2024-2-102-109

HYDRODYNAMICS OF BRAIDED NETTINGS KNOTLESS

Alexander A. Nedostup – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Industrial Fisheries, Kaliningrad, Russia

Alexey O. Razhev – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Kaliningrad, Russia

Pavel V. Nasenkov – Senior lecturer at the Department of Industrial Fisheries, Kaliningrad, Russia

Egor I. Sergeev – postgraduate student of the Department of Industrial Fisheries, Kaliningrad, Russia

Yulia S. Pivovarova – postgraduate student of the Department of Industrial Fisheries, Kaliningrad, Russia

Artur A. Voloshin – Master's student of the Department of Industrial Fisheries, Kaliningrad, Russia

Kaliningrad State Technical University (KSTU)

Address: Russia, 236022, Kaliningrad, Sovetsky Prospekt, 1

Annotation. Netting knotless represent fishing implements and aquaculture cages. These are mesh fabrics made of high-strength yarns without the use of knots. Polyamide and polyethylene fibers serve as the material. Nettings knotless fabrics are produced in special knitting factories that work in accordance with the technology of fixing cells. At the last stage of production, the products are subjected to heat treatment, which provides additional strength to the nettings. Such nets are superior to their nodular analogues. They are more reliable, the weight due to the lack of nodal connections is less, the risk of injury to fish is minimal, also the flow rate of such connections is better, and algae and other microorganisms do not grow to them. Netting knotless are widely used in the manufacture of cages, selective inserts of trawls, seines and traps. The article considers the application of a numerical method to determine the hydrodynamic characteristics of knotless netting using software developed by the authors. The schematization of the netting knotless was performed to create a mathematical model based on Navier-Stokes partial differential equations. The initial and boundary conditions for a given computational domain were established. The calculation was carried out on a regular computational grid using an implicit finite-difference scheme using methods of coordinate splitting, linearization of nonlinear equations with subsequent correction of nonlinear coefficients, and solution of the obtained tridiagonal systems by the run-through method. The results of numerical experiments are presented in the form of visualization of pressure on the surface of various mesh structures at different angles of attack.

Keywords: netting knotless, software, hydrodynamics, digital technologies

For citation: Nedostup A.A., Razhev A.O., Nasenkov P.V., Sergeev E.I., Pivovarova Yu. S., Voloshin A.A.

Hydrodynamics of braided netting knotless // Fisheries. 2024. № 2. Pp. 102-109.

DOI: 10.36038/0131-6184-2024-2-102-109

Рисунки и таблицы – авторские / The drawings and tables were made by the author

Сетные конструкции, а именно плетеные безузловые дели широко применяются в орудиях промышленного рыболовства [1; 2] и в садках аквакультуры [3-5]. Также применяются безузловые дели в различных инженерных сооружениях [6]. Безузловая дель изготавливается из высокопрочных полиамидных и полиэтиленовых и других нитей, веревок и шнуров без использования узлов. Она производится на специализированном вязальном оборудовании, в соответствии с технологией фиксации ячеек. На заключительном этапе производства всю продукцию подвергают термообработке, что придает безузловымделям дополнительную прочность. Безузловые дели имеют множество преимуществ перед узловыми аналогами. Они на 15-20% меньше ве-

сят, что уменьшает силу гидродинамического сопротивления и значительно снижает затраты на материалы. Вероятность повреждений вылавливаемых объектов сводится к минимуму, а прочность дели выше из-за отсутствия уязвимых соединений, которые в процессе эксплуатации имеют риск ослабнуть и распуститься. Также проточность безузловых делей лучше, а водоросли и другие микроорганизмы не прирастают. Технология производства таких делей имеет широкое применение в изготовлении садков, селективных вставок тралов, закидных и ставных неводов, мереж и ловушек.

Сетчатые конструкции, имеющие малые числа модуля упругости E (поперечного и продольного), принято называть сетными кон-



Рисунок 1.
Безузловая
плетеная дель
Т0

Figure 1.
Knotless
braided
webbing Т0



Рисунок 2. Садки аквакультуры

Figure 2. Knotless braided webbing Т0

струкциями. В данном случае исследуются дель для рыболовства и рыбоводства.

В рыболовной промышленности безузловые дель успешно используются в селективных вставках, а также концевых частях для уменьшения гидродоупора. Главная проблема применения безузловых делей – это низкая ремонтпригодность. Ремонтировать такую дель невозможно, следует только заменять элементы.

На рисунке 1 изображена деталь куклы безузловой дели. На рисунке 2 изображены садки аквакультуры, изготовленные из безузловой дели.

В орудиях промышленного рыболовства применяются плетеные безузловые дель с поворотом: Т0, Т45 и Т90. Их продольный модуль упругости соответствует значениям ниток и веревок и составляет $E \leq 2$ ГПа.

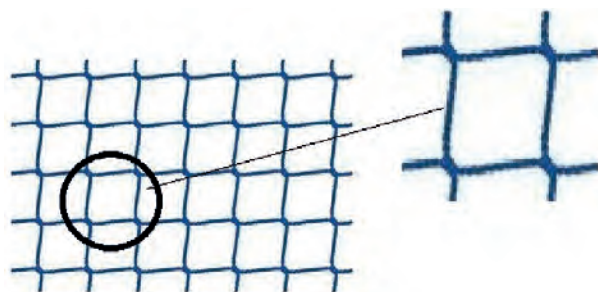


Рисунок 3. Схематизация плетеной безузловой дели Т45

Figure 3. Schematization of braided knotless webbing Т45

Во время ведения промысла на дель действуют гидродинамические силы, создающие натяжение в сетной конструкции. Важным является изучение таких гидродинамических характеристик как поля давлений и скоростей. С этой целью следует применять метод физического эксперимента [7-8] и метод численного эксперимента [9-10].

Физический эксперимент требует дорогостоящего оборудования, к примеру, гидроканал, а также инструменты типа PIV [11] для определения скорости частиц воды вокруг и рядом с безузловой делью, а также – для определения полей давлений, которые необходимы для расчета гидродинамики безузловых конструкций.

Численный эксперимент является более доступным, но имеет свои трудности. Для его проведения необходимо воспользоваться специальной компьютерной программой, которая будет включать в себя все возможные взаимодействия сетного полотна с водной средой. Создание такой программы требует высоких математических познаний в сочетании с навыками программирования. Применение алгоритмов численного эксперимента и имитационного моделирования основываются на решении уравнения Навье-Стокса и уравнения неразрывности [12].

Рассмотрим схематизацию плетеных безузловых делей Т45 (рис. 3).

Подготовка 3D моделей представлена на рисунках 4-6.

В данной работе был осуществлен численный эксперимент, для проведения которого использовалась компьютерная программа «Гидродинамика плетеной безузловой дели», разработанная авторами. Программа была написана на языке программирования C++ и создана посредством визуальной среды разработки Embarcadero RAD Studio. Интерфейс данной платформы имеет стандартные операционные системы, что облегчает работу в ней. Пользователям не требуется дополнительных навыков для ее освоения.

Программное обеспечение «Гидродинамика плетеной безузловой дели» специально предназначено для проведения расчетов и анализа гидродинамического поведения безузловых делей, с акцентом на расчет сетчатых конструкций. Через графический интерфейс программы пользователь может легко выполнять расчеты и анализ гидродинамических процессов, используя численные методы моделирования и учитывая особенности сетчатых конструкций.

Алгоритм расчета включает следующие основные шаги:

1. Представить в дискретном виде простран-

а) посадка $u_x = 0,454$ а) посадка $u_x = 0,707$ а) посадка $u_x = 0,898$

Рисунок 4. Участок безузловой дели $d/a=0,51$ / **Figure 4.** Part of the nodeless webbing $d/a=0,51$

а) посадка $u_x = 0,454$ а) посадка $u_x = 0,707$ а) посадка $u_x = 0,898$

Рисунок 5. Участок безузловой дели $d/a=0,25$ / **Figure 5.** Part of the nodeless webbing $d/a=0,25$

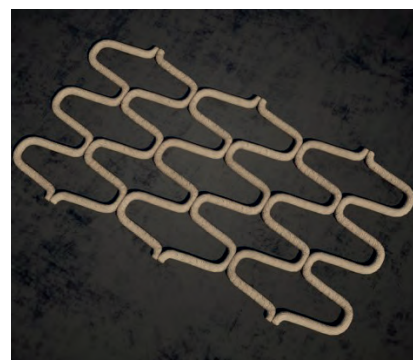
а) посадка $u_x = 0,809$ а) посадка $u_x = 0,707$ а) посадка $u_x = 0,898$

Рисунок 6. Участок безузловой дели $d/a=0,13$ / **Figure 6.** Part of the nodeless webbing $d/a=0,13$

ственные производные уравнений Навье-Стокса и уравнения неразрывности с использованием конечно-разностного метода.

2. Сформировать системы линейных алге-

браических уравнений, на основе полученных дискретизированных уравнений.

3. Применить неявный метод для решения системы уравнений, что позволяет эффектив-

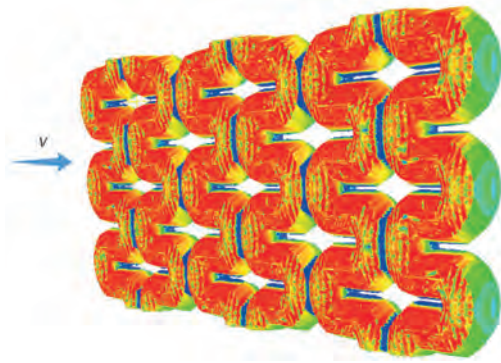


Рисунок 7. Компьютерная модель плетеной безузловой дели ($d/a=0,5$, $u_x=0,898$, 9 ячей), вектор скорости потока направлен к плоскости ячеи под углом 90°

Figure 7. Computer model of a braided knotless net ($d/a=0,5$, $u_x=0,898$, 9 mesh), flow velocity vector is directed to the mesh plane at angle of 90°

но учитывать временные и пространственные изменения полей скоростей и давлений.

4. Установить ограничения первого рода на границах расчетной области и на поверхности имитационной модели сетки для учета заданных граничных условий.

Расчет выполнялся с использованием неявно-конечно-разностного метода на регулярной расчетной сетке. На границах расчетной сетки и на поверхности плетеной безузловой дели были установлены начальные условия и ограничения первого рода по полю скоростей и давлений.

Ниже приведены основные уравнения гидродинамики, используемые при расчете:

1. Уравнение сохранения массы (уравнение неразрывности) с введенным в него компонентом искусственной сжимаемости среды:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = \alpha \rho \nabla \cdot \mathbf{v}, \quad (1)$$

где p – давление воды; t – время; ρ – плотность воды; \mathbf{v} – вектор скорости потока относительно дели; α – коэффициент искусственной сжимаемости среды.

2. Уравнения сохранения импульса по направлениям x, y, z (уравнение Навье-Стокса):

$$\frac{\partial (\rho v_x)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v_x \mathbf{v}) = \mu \nabla^2 v_x - \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial (\rho v_y)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v_y \mathbf{v}) = \mu \nabla^2 v_y - \frac{\partial p}{\partial y}, \quad (3)$$

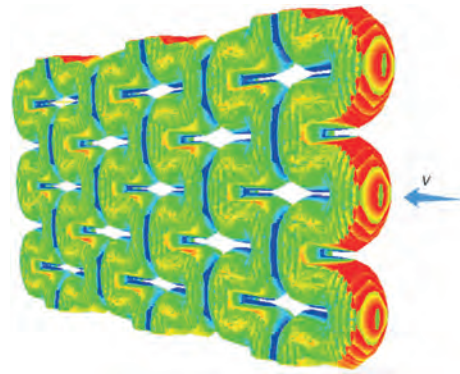


Рисунок 8. Компьютерная модель плетеной безузловой дели ($d/a=0,5$, $u_x=0,898$, 9 ячей), вектор скорости потока направлен к плоскости ячеи под углом 10°

Figure 8. Computer model of a braided knotless net ($d/a=0,5$, $u_x=0,898$, 9 mesh), flow velocity vector is directed to the mesh plane at angle of 10°

Таблица 1. Характеристики плетеных безузловых делей ПА /

Table 1. Characteristics of braided knotless panels

Вид элемента	Модуль упругости E ГПа	Диаметр d , мм	Шаг ячеи a , мм	Отношение d/a
Плетеный шнур ПА (гипотетический)	2,0	2,0	4,0	0,5
Плетеный шнур ПА		1,0	4,0	0,25
Плетеный шнур ПА		1,0	8,0	0,125

Таблица 2. Характеристики потока / **Table 2.** Flow characteristics

Жидкость	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент кинематической вязкости ν , м ² /с	Скорость потока по оси OX v , м/с	Температура T , °C
вода	1000	$1,3 \cdot 10^{-6}$	1,0	18

$$\frac{\partial(\rho v_z)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v_z \mathbf{v}) = \mu \nabla^2 v_z - \frac{\partial p}{\partial z}, \quad (4)$$

где v_x – компонента вектора скорости \mathbf{v} по направлению x ; v_y – компонента вектора скорости \mathbf{v} по направлению y ; v_z – компонента вектора скорости \mathbf{v} по направлению z ; μ – динамическая вязкость воды.

В процессе расчета был применен метод по координатного расщепления уравнений (2) – (4). Этот метод позволяет упростить сложные уравнения и решать их последовательно по каждому направлению x , y и z . Каждое уравнение Навье-Стокса разбивается на три и решается отдельно. В результате расщепления мы приходим к системе уравнений для проекций скорости и давления в каждой точке вычислительной сетки и по каждому направлению.

Далее следует процесс преобразования полученных нелинейных уравнений в линейные с выделением нелинейных коэффициентов для дальнейшего упрощения решения задачи. Получаем трехдиагональную систему линейных алгебраических уравнений вида (5), для решения которой применяется метод прогонки (метод Томаса).

$$a_i x_{i-1} + b_i x_i + c_i x_{i+1} = d_i, \quad (5)$$

где a_i, b_i, c_i – коэффициенты трехдиагональной матрицы; x_i – неизвестные; d_i – правая часть системы уравнений.

Алгоритм метода прогонки состоит из двух шагов:

1. Прямой проход. На данном шаге выполняется вычисление параметров прогонки β_i и γ_i с использованием рекуррентных соотношений

$$\beta_i = \frac{c_i}{b_i - a_i \beta_{i-1}}, \quad \gamma_i = \frac{d_i - a_i \gamma_{i-1}}{b_i - a_i \beta_{i-1}}, \quad (6)$$

при $i = 2, 3, \dots, n-1$ и начальных $\beta_1 = c_1/b_1$; $\gamma_1 = d_1/b_1$, где n – размер системы уравнений (количество уравнений и неизвестных).

2. Обратный проход. На данном шаге выполняется вычисление неизвестных x_i с использованием рекуррентного соотношения

$$x_i = \beta_i x_{i+1} + \gamma_i, \quad (7)$$

при $i = n-1, n-2, \dots, 1$ и начальной $x_n = \gamma_n$.

Таким образом, получив значения параметров прогонки на прямом проходе, мы можем затем вычислить все неизвестные x_i на обратном проходе. Метод прогонки имеет линейную сложность относительно размера системы n и обеспечивает эффективное ре-

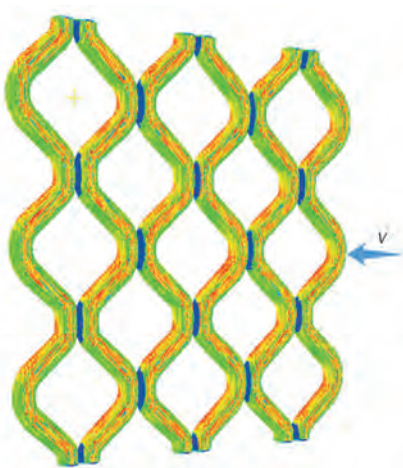


Рисунок 9. Компьютерная модель плетеной безузловой дели ($d/a=0,25$, $u_x=0,707$, 9 ячеей), вектор скорости потока направлен к плоскости ячеи под углом 90°

Figure 9. Computer model of a braided knotless net ($d/a=0,25$, $u_x=0,707$, 9 mesh), flow velocity vector is directed to the mesh plane at angle of 90°

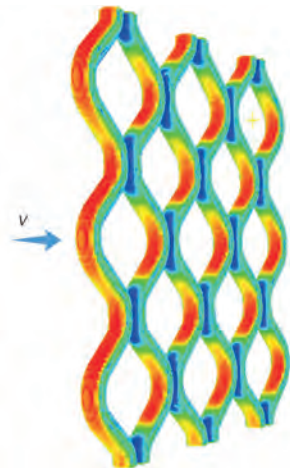


Рисунок 10. Компьютерная модель плетеной безузловой дели ($d/a=0,25$, $u_x=0,707$, 9 ячеей), вектор скорости потока направлен к плоскости ячеи под углом 15°

Figure 10. Computer model of a braided knotless net ($d/a=0,25$, $u_x=0,707$, 9 mesh), flow velocity vector is directed to the mesh plane at angle of 15°

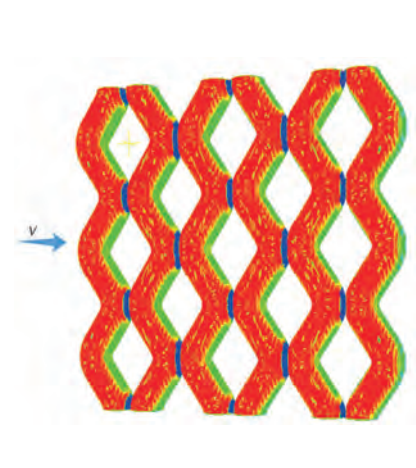


Рисунок 11. Компьютерная модель плетеной безузловой дели ($d/a=0,5$, $u_x=0,707$, 9 ячеей), вектор скорости потока направлен к плоскости ячеи под углом 90°

Figure 11. Computer model of a braided knotless net ($d/a=0,5$, $u_x=0,707$, 9 mesh), flow velocity vector is directed to the mesh plane at angle of 90°

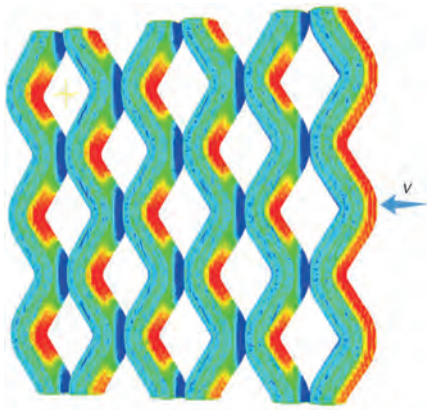


Рисунок 12. Компьютерная модель плетеной безузловой дели ($d/a=0,5$, $u_x=0,707$, 9 ячеей), вектор скорости потока направлен к плоскости ячеей под углом 15°

Figure 12. Computer model of a braided knotless net ($d/a=0,5$, $u_x=0,707$, 9 mesh), flow velocity vector is directed to the mesh plane at angle of 15°

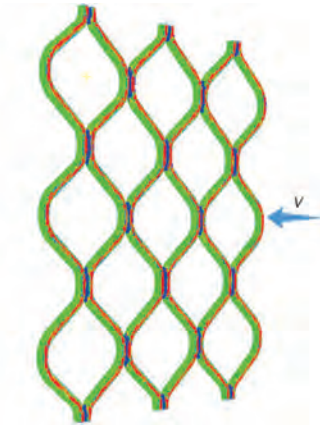


Рисунок 13. Компьютерная модель плетеной безузловой дели ($d/a=0,125$, $u_x=0,707$, 9 ячеей), вектор скорости потока направлен к плоскости ячеей под углом 90°

Figure 13. Computer model of a braided knotless net ($d/a=0,125$, $u_x=0,707$, 9 mesh), flow velocity vector is directed to the mesh plane at angle of 90°

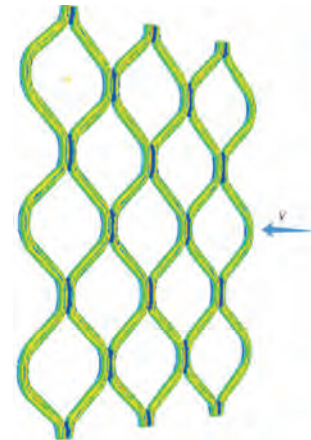


Рисунок 14. Компьютерная модель плетеной безузловой дели ($d/a=0,125$, $u_x=0,707$, 9 ячеей), вектор скорости потока направлен к плоскости ячеей под углом 10°

Figure 14. Computer model of a braided knotless net ($d/a=0,125$, $u_x=0,707$, 9 mesh), flow velocity vector is directed to the mesh plane at angle of 10°

шение трехдиагональных систем линейных уравнений.

Применение покоординатного расщепления облегчает решение сложной системы уравнений Навье-Стокса, разбивая ее на более простые подзадачи и позволяя использовать эффективные методы численного решения.

В таблице 1 приводятся характеристики плетеных безузловых делей, изготовленных из полиамида (ПА).

Характеристики потока приведены в таблице 2.

На рисунке 7 изображен результат компьютерного моделирования плетеной безузловой дели, где $d/a=0,5$, а посадка $u_x=0,898$ (см. рис. 4в). Данная модель выполнена с условием, что вектор скорости потока v направлен к плоскости ячеей перпендикулярно.

Эта же сеть смоделирована при условии, что вектор скорости потока v направлен к плоскости ячеей под углом 10° (рис. 8).

На рисунках 9 и 10 показаны результаты компьютерного моделирования плетеной безузловой дели, где $d/a=0,25$, а посадка $u_x=0,707$ (см. рис. 5б). Модели выполнены при различных углах атаки.

На рисунках 11 и 12 показаны результаты компьютерного моделирования плетеной безузловой дели, где $d/a=0,5$, а посадка $u_x=0,707$

(см. рис. 4б). Модели выполнены при различных углах атаки.

На рисунках 13 и 14 показаны результаты компьютерного моделирования плетеной безузловой дели, где $d/a=0,125$, а посадка $u_x=0,707$ (см. рис. 6б). Модели выполнены при различных углах атаки.

Результаты проведенных экспериментальных исследований сопоставимы с эмпирическими данными, полученными учеными из разных стран. Насколько численная модель соответствует физической главным образом зависит от корректности разработанной программы. Она должна учитывать все факторы взаимодействия окружающей среды с сетчатой конструкцией [13-14].

Исследование выполнено в рамках выполнения государственного задания по теме «Разработка физических, математических и предсказательных моделей процессов эксплуатации донного и разноглубинного траловых комплексов».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад в работу авторов: Недоступ А.А. – идея статьи, окончательная ее проверка; Ражев А.О. – идея статьи, сбор и анализ данных; Насенков П.В. – сбор

и анализ данных, подготовка статьи; **Сергеев Е.И.** – подготовка трехмерных моделей; **Пивоварова Ю.С.** – экспериментальные исследования; **Волошин А.А.** – экспериментальные исследования.

The authors declare that there is no conflict of interest.

*Contribution to the work of the authors: **Nedostup A.A.** – the idea of the article, its final verification; **Razhev A.O.** – the idea of the article, data collection and analysis; **Nasenkov P.V.** – data collection and analysis, preparation of the article; **Sergeev E.I.** – preparation of three-dimensional models; **Pivovarova Y.S.** – experimental studies; **Voloshin A.A.** – experimental research.*

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Недоступ А.А., Ражев А.О. Моделирование орудий и процессов рыболовства. Часть I: учебное пособие. – Калининград: Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ». 2019. 433 с.
2. Недоступ А.А., Ражев А.О. Моделирование орудий и процессов рыболовства. Часть II: учебное пособие. – Калининград: Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ». 2019. 444 с.
3. Fredriksson D.W., Swift M.R., Irish J.D., Tsukrov I., Celikkol B. Fish cage and mooring system dynamics using physical and numerical models with field measurements // Aquacult. Eng. 27. 2003. Pp.117-146
4. Lader P.F., Enerhaug B. Experimental investigation of forces and geometry of a net cage in uniform flow // IEEE J. Oceanic Eng. 30 (1). 2005. Pp. 79-84
5. Suhey J.D., Kim N.H., Niezrecki C. Numerical modeling and design of inflatable structures application to open-ocean aquaculture cages // Aquacult. Eng. 33. 2005. Pp. 285-303
6. Недоступ А.А., Ражев А.О., Сергеев Е.И. Численные эксперименты в гидродинамике сетчатых конструкций // Седьмая международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИМК МТМТС-2023). Труды конференции (ISBN 978-5-6050031-8-2). – СПб.: ИПК «НП-Принт». 2023. С.155-162
7. Недоступ А.А. Экспериментальная гидромеханика орудий рыболовства. – М.: Моркнига. 2014. 363 с.
8. Белов В.А. Гидродинамика нитей, сетей и сетных орудий лова. – Калининград: Изд. ОАО МариНПО и Калининградского технического университета. 2000. 202 с.
9. Недоступ А.А., Ражев А.О. Математическая модель взаимодействия распорной траловой доски с водной средой // Морские интеллектуальные технологии. 2017. Т.1. №3 (37). С. 154-157
10. Zhou C., Xu L., Hu F., Qu X. Hydrodynamic characteristics of knotless nylon netting normal to free stream and effect of inclination // Ocean Eng. 2015. 110. Pp. 89-97
11. Ахметбеков Е.К., Бильский А.В., Ложкин Ю.А., Маркович Д.М., Токарев М.П., Тюрюшкин А.Н. Система управления экспериментом и обработки данных, полученных методами цифровой трассерной визуализации (ActualFlow). // Вычислительные методы и программирование. 2006. Т. 7 С. 79-85
12. Деги Д.В., Старченко А.В. Численное решение уравнений Навье-Стокса на компьютерах с параллельной архитектурой // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2012. № 2. С. 88-98
13. Zou B., Thierry N.N.B., Tang H., Xu L., Zhou C., Wang X., Dong S., Hu F. Flow field and drag characteristics of netting of cruciform structures with various sizes of knot structure using CFD models. // Appl. Ocean Res. 2021. 106. 102466
14. You X., Hu F., Takahashi Y., Shiode D., Dong S. Resistance performance and uידow investigation of trawl plane netting at small angles of attack // Ocean Eng. 2021. 236. 109525

LITERATURE AND SOURCES

1. Nedostup A.A., Razhev A.O. (2019). Modeling of fishing tools and processes. Part I: My opinion. – Kaliningrad: Publishing House of the Federal State Budgetary Educational Institution “KSTU”. 433 p. (In Russ.)
2. Nedostup A.A., Razhev A.O. (2019). Modeling of fishing tools and processes. Part II: General opinion. – Kaliningrad: Publishing House of the Federal State Budgetary Educational Institution “KSTU”. 444 p. (In Russ.)
3. Fredriksson D.V., Swift M.R., Irish J.D., Tsukrov I., Celikkol B. (2003). Dynamics of fish cages and mooring systems using physical and numerical models with field measurements // Aquacult. Eng. 27. Pp.117-146
4. Lader P.S., Shengaug B. (2005). Experimental study of the force and geometry of a mesh frame in the open sea // IEEE J. Oceanic Eng. 30 (1). Pp. 79-84
5. Sukhi J.D., Kim N.H., Nezretsky S. (2005). Numerical modeling and design of inflatable structures in relation to aquaculture cages in the open ocean // Aquacult. Eng. 33. Pp. 285-303
6. Nedostup A.A., Razhev A.O., Sergeev E.I. (2023). Numerical experiments in the hydrodynamics of mesh structures // The seventh International scientific and practical conference “Simulation and integrated modeling of marine equipment and marine transport systems” (ICM MTMTS-2023). Proceedings of the conference (ISBN 978-5-6050031-8-2). – St. Petersburg: IPK NP-Print. Pp.155-162. (In Russ.)
7. Nedostup A.A. (2014). Experimental hydromechanics of fishing gear. – М.: Моркнига. 363 p. (In Russ.)
8. Belov V.A. (2000). Hydrodynamics of threads, nets and net fishing gear. – Kaliningrad: Ed. JSC MariNPO and Kaliningrad Technical University. 202 p. (In Russ.)
9. Nedostup A.A., Razhev A.O. (2017). Mathematical model of interaction of a spacer trawl board with an aquatic environment // Marine intelligent technologies. Vol.1. No.3 (37). Pp. 154-157. (In Russ.)
10. Zhou S., Xu L., Hu F., Qu H. (2015). Hydrodynamic characteristics of a nylon mesh without nodes perpendicular to free flow and the influence of inclination // Ocean eng. 110. Pp. 89-97
11. Akhmetbekov E.K., Bilsky A.V., Yu Lozhkin.A., Markovich D.M., Tokarev M.P., Tyuryushkin A.N. (2006). Experiment control system and data processing obtained by digital tracer visualization (ActualFlow) methods. // Computational methods and programming. Vol. 7. Pp. 79-85. (In Russ.)
12. Degi D.V., Starchenko A.V. (2012). Numerical solution of the Navier-Stokes equations on computers with parallel architecture // Bulletin of Tomsk State University. Mathematics and mechanics. № 2. Pp. 88-98. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию / Received 22.02.2024
Принят к публикации / Accepted for publication 05.04.2024