



Гидродинамика узловых делей

<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-5-115-120>

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 Отдела научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, Калининград, Россия
E-mail: aleksej.razhev@klgtu.ru

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

Коновалова Карина Витальевна – аспирант кафедры промышленного рыболовства, Калининград, Россия
E-mail: karina.konovalova@klgtu.ru

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

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 просп., 1

Аннотация. Для постройки орудий рыболовства используют узловые дели с различной ориентацией: Т0 (стандартное расположение ячеи); Т90 и Т45 (Т0 развернутая на 90° и 45°, соответственно). В работе рассмотрено использование численного метода для определения гидродинамических свойств делей с различным поворотом ячеи. Была проведена схематизация полотна для разработки математической модели на основе уравнений Навье-Стокса. Расчет выполнялся на регулярной расчетной сетке по неявной конечно-разностной схеме с использованием методов покоординатного расщепления, линеаризации нелинейных уравнений с последующей коррекцией нелинейных коэффициентов, а также рением трехдиагональных систем методом прогонки. В работе приводятся результаты численных экспериментов в виде визуализации давления на поверхности разных сетчатых конструкции при различных углах атаки.

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

Для цитирования: Недоступ А.А., Ражев А.О., Насенков П.В., Коновалова К.В., Сергеев Е.И., Волошин А.А. Гидродинамика узловых делей // Рыбное хозяйство. 2024. № 5. С. 115-120.
<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-5-115-120>.

HYDRODYNAMICS OF NODE NETTINGS

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 at the Department of Research and Development Works, Kaliningrad, Russia

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

Karina V. Konovalova – Postgraduate student of the Department of Industrial Fisheries, Kaliningrad, Russia

Egor I. Sergeev – 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 ave.,1

Annotation. To build fishing gear, nodal sections with different orientations of the del are used: T0 (standard mesh arrangement); T90 and T45 (T0 rotated by 90° and 45° respectively). The paper discusses the use of this method to determine the hydrodynamic properties of objects with different mesh rotations. A schematization of the canvas was carried out to develop a mathematical model based on the Navier-Stokes equations. The calculation was performed on a regular computational grid using an implicit finite-difference scheme using the methods of coordinate splitting, linearization of nonlinear equations with subsequent correction of nonlinear coefficients, as well as solution of tridiagonal systems by the sweep method. The paper presents the results of numerical experiments in the form of visualization of pressure on the surface of various mesh structures at different angles of attack.

Keywords: del, software, hydrodynamics, digital technologies

For citation: Nedostup A.A., Razhev A.O., Nasenkov P.V., Konovalova K.V., Sergeev E.I., Voloshin A.A. (2024). Hydrodynamics of node nettings // Fisheries. No. 5. Pp. 115-120. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-5-115-120>.

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

К основным показателям сетного полотна в промышленном рыболовстве относятся: вид материала, тип пропитки, диаметр нитки, веревка, шнура, шаг ячеи и форма ячеи.

В настоящее время при постройке орудий лова используют дель с двумя видами ячей: зеркальной (Т45) и ромбической (Т0) [1; 2].

Т45 – это дель, у которой нитки располагаются вдоль и поперек полотна, образуя квадратные ячейки. В промышленном рыболовстве они применяются довольно редко и получают из Т0 путем специальной кройки по косой ячеи.

Наибольшее распространение в рыболовстве получили дели с ромбической формой Т0.

Однако относительно недавно в рыболовстве начали применять новый подход к расположению ячеи – Т90, который изготавливается из ромбовидной сетки, повернутой на 90° так, чтобы основное направление движения сетки было параллельно направлению буксировки, что приводит к улучшению раскрытия ячеи по

сравнению с ромбовидной (рис. 1). В результате применения, Т90 может улучшить избирательность по размерам при траловом промысле многих видов рыбной ловли.

Предыдущие оценки Т90, как меры по улучшению избирательности по размеру, включают: исследование тралового промысла трески на Балтике [3] и пикши в Баренцевом море [4].

Во время промысла на сетные орудия действуют гидродинамические силы, вследствие чего возникает натяжение в конструкции. Стоит отметить, что, по мере накопления улова, натяжение в конструкции усиливается и в дели Т0 ячеи начинают затягиваться и закрываться, в отличие от Т90. Все это влияет на селективные качества орудий лова.

Вследствие этого, становится очевидным важность изучения таких гидродинамических характеристик как поля давлений и скоростей. С этой целью следует применять метод физического эксперимента [5-6] и метод численного эксперимента [7-9].

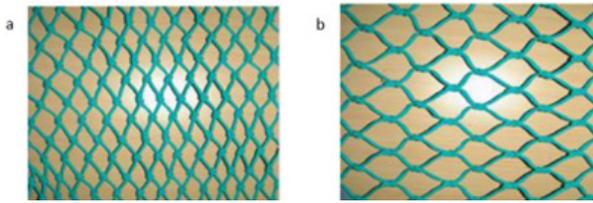


Рисунок 1. Дель T0 и T90
Figure 1. Netting T0 and T90

Физический эксперимент, проводимый для исследования гидродинамики узловых конструкций, требует значительных инвестиций в специализированное оборудование, такое как гидроканал, а также – использование технологий, например, PIV (Particle Image Velocimetry) [10], для измерения скорости частиц воды вблизи и вокруг узловых соединений. Эти инструменты необходимы для точного определения полей скорости и давления, которые играют ключевую роль в моделировании гидродинамического поведения таких конструкций.

Проведение численного эксперимента, несмотря на свою доступность, сопряжено с определенными сложностями. Для реализации такого эксперимента требуется использование специализированного компьютерного программного обеспечения, которое моделирует все возможные взаимодействия между сетчатым полотном и жидкой средой. Разработка подобного программного комплекса требует высоких математических компетенций в сочетании с навыками программирования. Применяемые алгоритмы численного эксперимента и имитационного моделирования основаны на решении уравнений Навье-Стокса и уравнения неразрывности [11].

Подготовка 3D моделей представлена на рисунках 2-4.

В настоящем исследовании был осуществлен численный эксперимент, в рамках которого применялась программа для ЭВМ «Гидродинамика плетеной узловой дели», разработанная авторами статьи. Данное программное обеспечение написано на языках программирования C++ и HLSL (язык программирования для графического процессора), и создано с использованием интегрированной среды разработки Embarcadero RAD Studio. Пользовательский интерфейс программы не требует специальных навыков для освоения.

Программное обеспечение «Гидродинамика плетеной узловой дели» специализировано на проведении расчетов и анализе гидродинамического поведения узловых делей, с акцентом на расчет сетных конструкций. Назначение

программы для ЭВМ – исследование влияния параметров среды, скорости и углов атаки, крена и дифферента узловой дели на поля скоростей и давлений воды. В программе имеется поддержка стерео-вывода трехмерной графики. Данная программа для ЭВМ может применяться в процессе обучения для проведения лабораторных и курсовых работ.

Основные этапы алгоритма расчета полей скоростей и давлений, примененного при разработке программы для ЭВМ, приведены на рисунке 5.

Алгоритм представляет собой комплексный подход к численному решению уравнений Навье-Стокса и уравнения неразрывности в гидродинамике. Использование дискретизации и линейной алгебры обеспечивает численную стабильность и эффективность решения. Применение неявного метода решения системы уравнений позволяет эффективно учитывать



Рисунок 2. Участок узловой дели $d/a=0,13$
Figure 2. Part of the nodal webbing $d/a=0,13$



Рисунок 3. Участок узловой дели $d/a=0,1$
Figure 3. Part of the nodal webbing $d/a=0,1$



Рисунок 4. Участок узловой дели $d/a=0,08$
Figure 4. Part of the nodal webbing $d/a=0,08$

Таблица 1. Характеристики плетеных узловых делей ПА / **Table 1.** Characteristics of braided nodal sections

Вид элемента	Модуль упругости E ГПа	Диаметр d мм	Шаг ячейки a мм	Отношение d/a
Плетеный шнур ПА (гипотетический)			48,0	0,13
Плетеный шнур ПА	2,0	6,3	63,0	0,10
Плетеный шнур ПА			77,0	0,08



Рисунок 5. Алгоритм расчета гидродинамики узловых делей

Figure 5. The algorithm for calculating the hydrodynamics of nodal webbing

как временные, так и пространственные изменения полей. Установка граничных условий обеспечивает корректное моделирование реальных условий задачи. Алгоритм является универсальным, его можно применять в различных инженерных и научных областях, требующих анализа гидродинамических процессов.

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

Характеристики потока приведены в таблице 2.

Для определения полей скоростей и давлений, при обтекании узловых делей потоком воды с постоянной скоростью, были взяты три образца делей. Все образцы состояли из 9 ромбических ячеек с шагом ячейки $a = 48$ мм и диаметром шнура 6,3 мм. Численный эксперимент проводился при различной посадке их, ориентации узлов Т0 и Т90, и углах атаки α .

На рисунке 6 показаны поля скоростей и давлений при обтекании узловых делей, состоящей из 9 ромбических ячеек с коэффициентом посадки $u_x = 0,707$. Поля рассчитаны при помощи, разработанной авторами, компьютерной программы.

Расчет проводился при условиях, указанных в таблице 2. При проведении численного эксперимента поток воды был направлен параллельно плоскости делей (сверху вниз по рисунку). Цветовая шкала, используемая на рисунке 6, соответствует цветовой модели HSB (цветовой

Рисунок 6. Поля скоростей и давлений при обтекании узловых делей ($u_x = 0,707$; 9 ячеек; $\alpha = 0^\circ$)

Figure 6. Velocity and pressure fields in the flow around the nodal webbing ($u_x = 0,707$; 9 mesh; $\alpha = 0^\circ$)

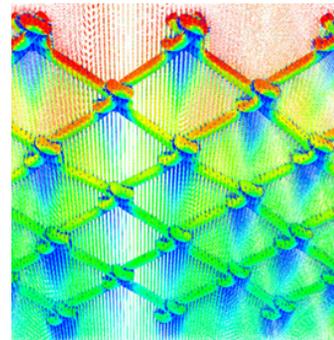


Таблица 2. Характеристики потока / **Table 2.** Flow characteristics

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

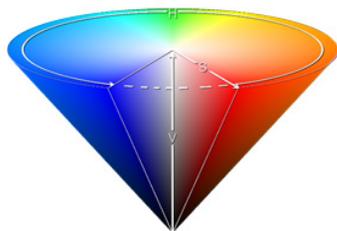
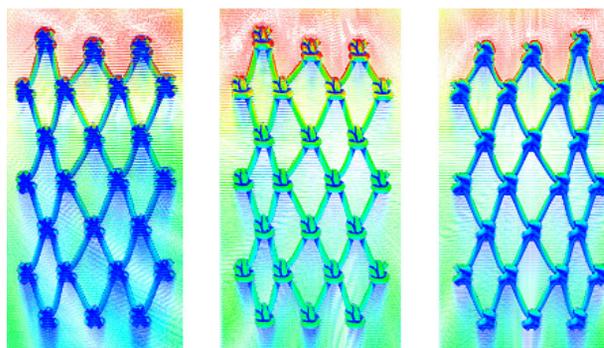


Рисунок 7.
Цветовая модель
HSB

Figure 7. HSB
Color Model

тон / насыщенность / яркость, см. рис. 7) [12], где величина давления ставится в соответствие цветовому тону. При этом красный цвет соответствует областям высокого давления, синий – низкого.

Для анализа полей скоростей и давлений в рыболовном трале были проведены численные эксперименты на образцах узловых делей с посадкой $u_x=0,454$, при угле атаки $\alpha=20^\circ$



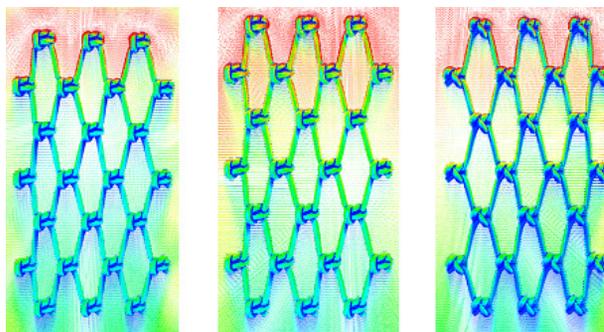
а) $\alpha=0^\circ$

б) $\alpha=20^\circ$

в) $\alpha=-20^\circ$

Рисунок 8. Поля скоростей и давлений при обтекании узловой дели (Т0; $u_x=0,454$, 9 ячей)

Figure 8. Velocity and pressure fields in the flow around the nodal webbing (T0; $u_x=0.454$; 9 mesh)



а) $\alpha=0^\circ$

б) $\alpha=20^\circ$

в) $\alpha=-20^\circ$

Рисунок 9. Поля скоростей и давлений при обтекании узловой дели (Т90; $u_x=0,454$, 9 ячей)

Figure 9. Velocity and pressure fields in the flow around the nodal webbing (T90; $u_x=0.454$; 9 mesh)

в сопоставлении с углом атаки $\alpha=0^\circ$. На рисунке 8 отображены результаты расчета полей скоростей и давлений при ориентации узлов Т0.

Результат, показанный на рисунке 8а, получен при направлении потока воды параллельно плоскости дели, аналогично предыдущему эксперименту (см. рис. б). На рисунках 8б и 8в поток воды направлен под углом $\alpha=20^\circ$ к плоскости дели. При этом, если считать, что дель является сетной частью рыболовного трала, то на рисунке 8б изображена ее внутренняя сторона, а на рисунке 8в – внешняя.

На рисунке 9 отображены результаты эксперимента, поставленного аналогично предыдущему (показанному на рис. 8), но при ориентации узлов Т90.

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: А.А. Недоступ – идея статьи, окончательная ее проверка; А.О. Разжев – идея статьи, разработка программы для ЭВМ, сбор и анализ данных; П.В. Насенков – сбор и анализ данных, подготовка статьи; К.В. Коновалова – аспирант кафедры промышленного рыболовства; Е.И. Сергеев – подготовка трехмерных моделей; А.А. Волошин – экспериментальные исследования.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Contribution to the work of the authors: A.A. Nedostup – the idea of the article, its final verification; A.O. Razhev – the idea of the article, development of a computer program, data collection and analysis; P.V. Nasenkov – data collection and analysis, preparation of the article; K.V. Konovalova – graduate student of the Department of Industrial Fisheries; E.I. Sergeev – preparation of three-dimensional models; A.A. Voloshin – experimental studies.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Недоступ А.А., Разжев 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. Herrmann B., Stepputtis D., Nilsson H.C., Wienbeck H., Einarsson H. et al. (2011). Report of the Study Group on Turned 90° Codend Selectivity, focusing on Baltic Cod Selectivity (SGTCOD). International Council for the Exploration of the Sea, No. SSGESST:08, 40 p.
4. Digre H., Hansen, U.J. & Erikson, U. (2010). Effect of trawling with traditional and 'T90' trawl codends on fish size and on different quality parameters of cod *Gadus morhua* and haddock *Melanogrammus aeglefinus*. *Fish Sci* 76, 549–559 <https://doi.org/10.1007/s12562-010-0254-2>
5. Недоступ А.А. Экспериментальная гидромеханика орудий рыболовства. – М.: МОРКНИГА. 2014. 363 с.
6. Белов В.А. Гидродинамика нитей, сетей и сетных орудий лова. – Калининград: Изд. ОАО МариНПО и Калининградского технического университета. 2000. 202 с.
7. 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» (ИКМ МТ-МТС-2023). Труды конференции (ISBN 978-5-6050031-8-2). – СПб.: ИПК «НП-Принт». 2023. С.155-162.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Hanbury Allan (2008). «Constructing cylindrical coordinate colour spaces» (PDF). *Pattern Recognition Letters*. 29 (4): 494–500. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2007.11.002>
13. Zou B., Thierry N.N.B., Tang H., Xu L., Zhou C., Wang X., Dong S., Hu F. (2021). Flow field and drag characteristics of netting of cruciform structures with various sizes of knot structure using CFD models. // *Appl. Ocean Res.* 106. 102466.
14. You X., Hu F., Takahashi Y., Shiode D., Dong S. (2021). Resistance performance and uildow investigation of trawl plane netting at small angles of attack // *Ocean Eng.* - 236, 109525.

LITERATURE AND SOURCES

1. Nedostup A.A., Razhev A.O. (2019). Modeling of fishing tools and processes. Part I: Study guide. – Калининград: 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: Study guide. – Калининград: Publishing House of the Federal State Budgetary Educational Institution “KSTU”. 444 p. (In Russ.)
4. Digre H., Hansen, U.J. & Erikson, U. (2010). Effect of trawling with traditional and 'T90' trawl codends on fish size and on different quality parameters of cod *Gadus morhua* and haddock *Melanogrammus aeglefinus*. *Fish Sci* 76, 549–559 <https://doi.org/10.1007/s12562-010-0254-2>
5. Nedostup A.A. (2014). Experimental hydromechanics of fishing gear. – М.: МОРКНИГА. 363 p. (In Russ.)
6. Belov V.A. (2000). Hydrodynamics of threads, nets and net fishing gear. – Калининград: Ed. JSC MariNPO and Kaliningrad Technical University. 202 p. (In Russ.)
7. Nedostup A.A. 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.)
8. Nedostup A.A. 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.)
9. 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
10. Akhmetbekov E.K., And Belsky 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.)
11. 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*. No. 2. Pp. 88-98. (In Russ.)
12. Hanbury Allan (2008). “Constructing cylindrical coordinate colour spaces” (PDF). *Pattern Recognition Letters*. 29 (4): 494–500. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2007.11.002>
13. Zou B., Thierry N.N.B., Tang H., Xu L., Zhou C., Wang X., Dong S., Hu F. (2021). Flow field and drag characteristics of netting of cruciform structures with various sizes of knot structure using CFD models. // *Appl. Ocean Res.* 106. 102466
14. You X., Hu F., Takahashi Y., Shiode D., Dong S. (2021). Resistance performance and uildow investigation of trawl plane netting at small angles of attack // *Ocean Eng.* - 236, 109525

Материал поступил в редакцию / Received 22.07.2024

Принят к публикации / Accepted for publication 10.09.2024