

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья

УДК 532.5+639.2.081:681.3

DOI: <https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2023-66-15>

Влияние угла наклона сети на её гидродинамические характеристики

Дмитрий Анатольевич Пилипчук¹, Татьяна Николаевна Веренич²

^{1, 2} Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

¹ pilipchuk.da@dgtru.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9273-5957>

² verenich_tanya_rus@mail.ru

Аннотация. Форма потока жидкости, протекающего через неподвижное сетное полотно, исследуется с использованием компьютерного взаимодействия потока жидкости. Численные проверки проводятся путем сравнения измерений обтекания круглого цилиндра, из которого состоят сетные пластины. Установлено, что моделирование небольшой части сетной пластины достаточно для воспроизведения полномасштабной сети. Изучается влияние скорости набегающего потока, диаметра и длины нитей на поля турбулентности. Показаны уникальные схемы течения, распределение турбулентных кинетических энергий в области следа за пересечениями цилиндров, которое имеет решающее значение, влияющее на решение инженера при проектировании орудий рыболовства.

Ключевые слова: вычислительная гидродинамика, CFD, коэффициенты, модель, канат, расчет, рыболовство, моделирование

Для цитирования: Пилипчук Д.А., Веренич Т.Н. Влияние угла наклона сети на её гидродинамические характеристики // Научные труды Дальрыбвтуза. 2023. Т. 66, № 4. С. 125–132.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

DOI: <https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2023-66-15>

**The influence of the angle of inclination of the network
on its hydrodynamic characteristics**

Dmitry A. Pilipchuk¹, Tatiana N. Verenich²

^{1, 2} Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

¹ pilipchuk.da@dgtru.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9273-5957>

² verenich_tanya_rus@mail.ru

Abstract. The shape of fluid flow through a stationary mesh fabric is examined using computer-aided fluid flow interaction. Numerical tests are carried out by comparing measurements of the flow around a circular cylinder that makes up the mesh plates. It has been found that modeling a small part of the mesh plate is sufficient to reproduce a full-scale network. The article studies the influence of free-stream velocity, diameter and length of filaments on turbulence fields. Unique flow patterns are shown, the distribution of turbulent kinetic energies in the wake area behind the intersections of the cylinders, which is of decisive importance influencing the engineer's decision when designing fishing gear.

Keywords: computational fluid dynamics, CFD, coefficients, model, rope, calculation, fishing, modeling

For citation: Pilipchuk D.A., Verenich T.N. The influence of the angle of inclination of the network on its hydrodynamic characteristics. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2023; 66(4):125–132. (in Russ.).

Введение

Орудия рыболовства представляют собой сложные инженерные сооружения, изготавливаемые из нитевидных изделий, исходным сырьем для которых является волокна.

В последние годы разные по структурам волокна смешивают между собой, чтобы синтезировать так называемые смешанные волокна для изготовления рыболовных нитевидных материалов, которые отличаются своими более высокими показателями надежности [1].

Все нитевидные веревочные изделия делятся на нитки, веревки, шнуры и канаты, которые, в свою очередь, бывают кручеными или плетеными.

Разработанные орудия рыболовства имеют большой размер и требуют сложных подходов на этапе проектирования. При эксплуатации в условиях моря на конструкцию воздействуют разного рода нагрузки, что приводит к повышенной усталости и непредсказуемым структурным повреждениям [1].

Оценка гидродинамики и таким образом понимания фильтрации воды, проходящей сквозь сетные полотна, даст углубленные знания при проектировании конструкций орудий рыболовства [2].

Характер следа за сетными конструкциями имеет важное практическое значение. Сетные орудия рыболовства в основном изготавливаются из сетных плах, которые, в свою очередь, состоят из большого числа перекрещивающихся ниток или веревок. Наличие такой сложной конструкции вызывает сложные схемы течения, влияющие на пространство вокруг ячеи.

Объекты и методы исследований

Так как основными материалами, используемыми в орудиях лова, являются текстильные изделия, которые по форме напоминают цилиндры, мы выбрали цилиндр в качестве объекта исследования. Сопротивление прямолинейных канатов подвержено тем же закономерностям, что и сопротивление гладких цилиндров [3].

Обтекание цилиндров жидкостью относится к поведению жидкости (например, воды, воздуха или масла), когда она обтекает цилиндрический объект, такой как труба или цилиндр. В общем, форма потока жидкости вокруг цилиндра зависит от нескольких факторов, включая скорость жидкости, вязкость жидкости, размер и форму цилиндра, а также угол атаки (угол, под которым жидкость течет мимо цилиндра). Когда жидкость обтекает такие предметы, как цилиндр, она создает завихрения, которые могут существенно повлиять на работу изделия [3].

При идеальном обтекании (т.е. без трения) жидкость движется по линиям, называемым линиями тока. Вблизи передней части цилиндра эти линии сильно изогнуты, что создает зону пониженного давления [4]. Затем жидкость обтекает более плавно и равномерно, пока не достигнет задней части цилиндра, рис. 1 [5].

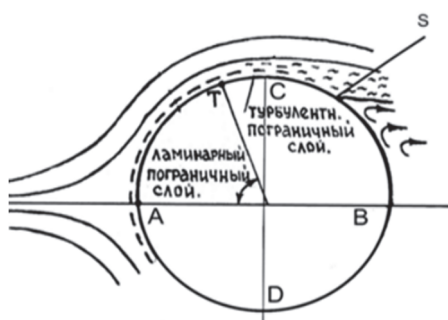


Рис. 1. Обтекание цилиндра потоком воды
Fig. 1. Water flow around a cylinder

При обтекании цилиндра жидкость может двигаться по разным слоям, каждый из которых имеет свою скорость и направление движения. В зависимости от скорости потока обтекание может быть ламинарным или турбулентным [6]. Ламинарное обтекание происходит при достаточно низких скоростях жидкости и характеризуется плавным, упорядоченным движением. При турбулентном обтекании жидкость движется быстрее, на поверхности цилиндра формируются вихри и потоки, что приводит к неустойчивым изменениям давления и сил на самом объекте [7, 8].

На практике часто используются методы моделирования обтекания цилиндра в различных условиях. Например, с помощью компьютерных программ можно рассчитать показатели турбулентного обтекания цилиндра жидкостью при заданных параметрах, что позволяет выбирать оптимальные параметры для создания более эффективных устройств [3, 9].

Таким образом, обтекание цилиндра жидкостью представляет собой сложный физический процесс, который имеет большое значение для практических применений. Понимание основных закономерностей этого явления позволяет улучшить конструкцию различных элементов, работающих с жидкостями, и достичь большей эффективности в использовании этих материалов.

Понимание поведения жидкостей вокруг веревок важно в рыболовстве. Инженеры и исследователи используют компьютерное моделирование, аэродинамические трубы и другие средства, изучая потоки жидкости вокруг орудий рыболовства, для разработки более эффективных и рабочих конструкций [10].

Сетные полотна широко используются в орудиях рыболовства. В данной статье предлагается изучить силу и узоры протекание жидкости через сетные полотна, которые будут основаны на численном моделировании части сетных полотен.

Для создания модели сетного полотна примем: сетное полотно будут представлять собой систему перекрещивающихся цилиндров (рис. 2, 3).

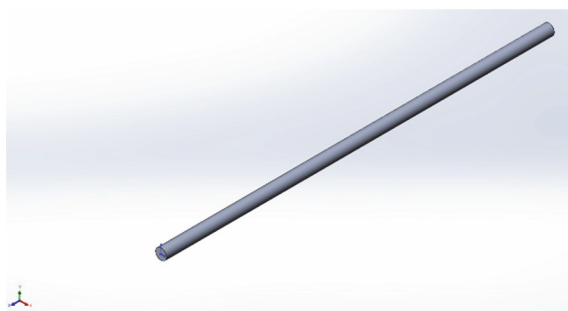


Рис. 2. Гладкий цилиндр
Fig. 2. Smooth cylinder

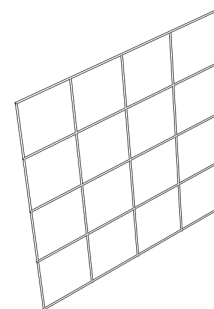


Рис. 3. Модель сетного полотна
Fig. 3. Model of mesh fabric

Схема переплетения экспериментальных образцов представляет собой сетчатую структуру (рис. 3). Диаметр цилиндра равен 2,8 мм, а размер ячейки – 100 мм.

Определение гидродинамических характеристик проводилось для безузловых панелей и рассчитывалось с использованием следующих выражений [11].

Для определения коэффициента сопротивления цилиндра:

$$C_x = \frac{R}{0.5 \times \rho \times V^2 \times d \times l}, \quad (1)$$

где R – сила сопротивления, Н; ρ – плотность воды, кг/м³; V – скорость входящего потока, м/с; d – диаметр цилиндра, м; l – длина цилиндра, м.

Для определения коэффициента сопротивления сетчатой пластины:

$$C_x = \frac{R}{0.5 \times \rho \times V^2 \times S}, \quad (2)$$

где S – площадь ниток пластины, м².

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{V \times d}{\nu}, \quad (3)$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости воды, м²/с.

Число Рейнольдса (Re) определялось по скорости набегающего потока, характерной длине и динамической вязкости воды. Исходные данные для моделирования: давление 101325 Па, температура 10 °С, плотность воды 1015 кг/м³, динамическая вязкость $1,0115 \times 10^{-3}$ Па с.

Характерной длиной сети в этом эксперименте служил диаметр цилиндра. Диаметр бечевки служил характерной длиной сети.

Чтобы охарактеризовать турбулентный поток и его влияние на гидродинамическую силу, рассчитали число Рейнольдса при заданных скоростях, которые свели в таблицу.

Зависимость числа Re от скорости потока Dependence of Re number on flow rate

Скорость, м/с ²	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Re	210,5	421,1	631,6	842,1	1052,6	1263,2	1473,7	1684,2	1894,7	2105,3
Скорость, м/с ²	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
Re	2315,8	2526,3	2736,8	2947,4	3157,9	3368,4	3578,9	3789,5	4000,0	4210,5

Из таблицы видно, что число Рейнольдса для сетки варьируется от 210,5 до 4210,5, что свидетельствует о развитии турбулентного потока через сетку. Модель турбулентности выбрали $k-\omega$ и SST. Именно с этими моделями производят моделирование потока вблизи плохо обтекаемых тел. Поэтому выбранные модели полностью оправдывают использование в наших задачах [12, 13].

Угол атаки пластины к набегающему потоку изменялся от 0 до 50 градусов с шагом 10 и от 60 до 90 с шагом 5.

Для построения 3D-модели сетной пластины использовалась программа Компас 3D.

Результаты и их обсуждение

Набор результатов указывает на увеличение сопротивления по мере увеличения скорости потока, рис. 4. Также по мере уменьшения угла атаки уменьшается и сопротивление. Из графика рис. 4 видно, что коэффициент сопротивления стремится к нулю вслед за сопротивлением по мере уменьшения угла атаки, так как сила сопротивления и коэффициент этой силы взаимосвязаны.

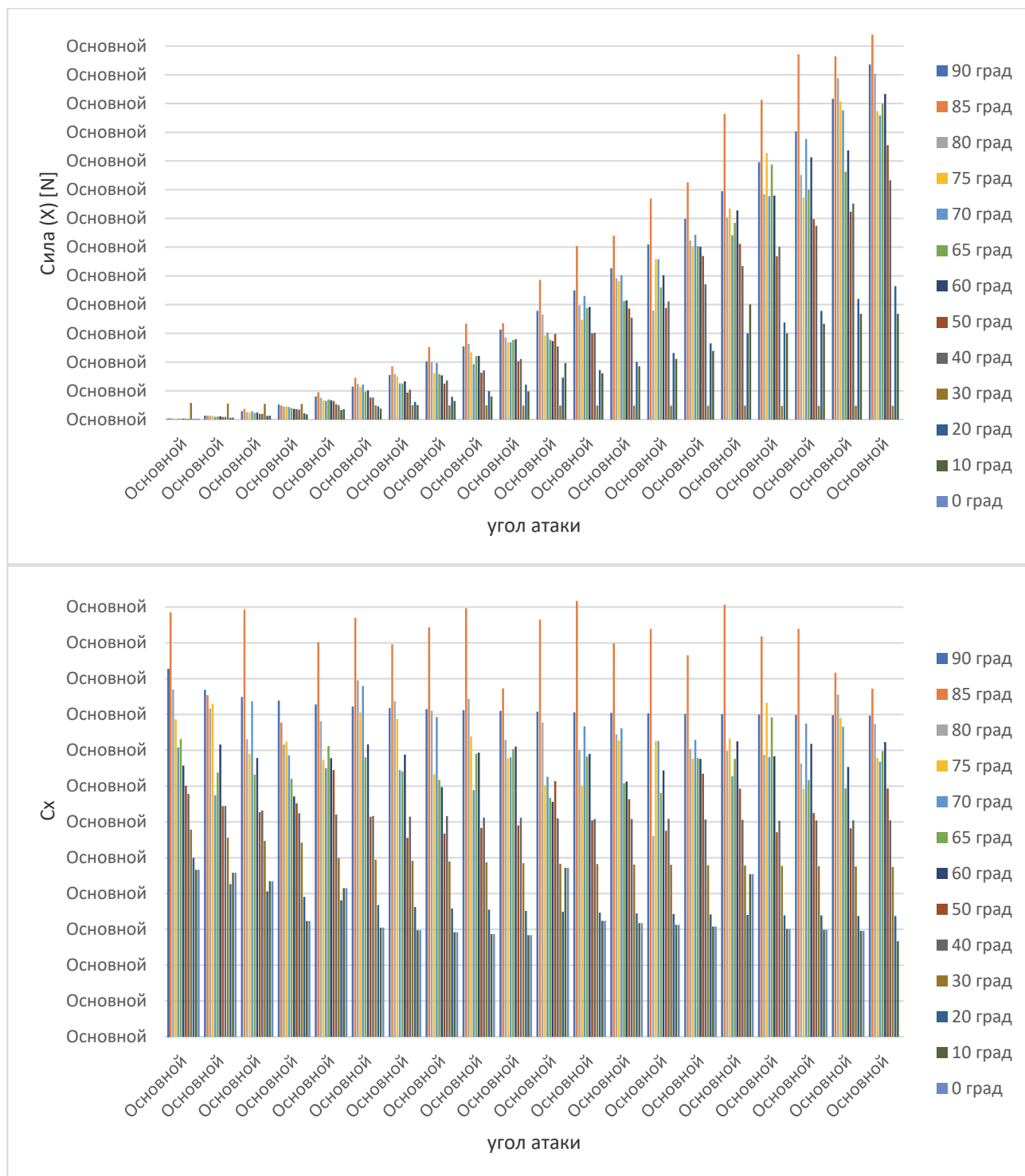


Рис. 4. Результат моделирования
Fig. 4. Simulation result

Как показано на рис. 5, имеется небольшая зона затухания скорости перед сеткой и очень большая зона затухания скорости за сеткой, соответствующая следам за сеткой и турбулентному потоку вокруг сетки. Эти результаты также показывают, что увеличение угла атаки увеличивает зону затухания скорости (зону следа). Снижение скорости в области следа максимально при угле атаки 90.

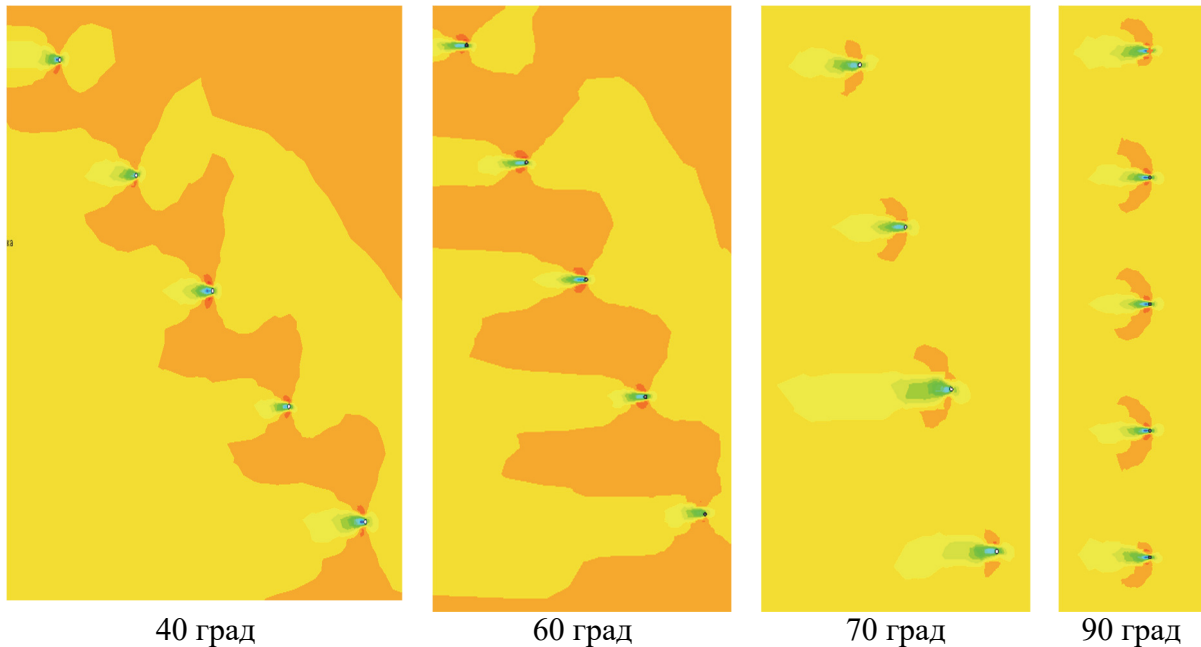


Рис. 5. Распределение скорости через сетку под разными углами атаки
Fig. 5. Velocity distribution through the netting in different attack angle

Результаты показывают, что поток, проходящий через сетчатые панели, образует сложные вихревые структуры из-за эффекта блокировки, вызванного ячейками. Эти структуры создают высокий уровень турбулентности внутри и за сетчатой панелью. По мере увеличения скорости входящего потока отрыв потока происходит раньше и вызывает более крупные следы за панелями сетки. Это говорит о том, что более высокие скорости течения могут увеличить вероятность того, что рыба наткнется на ячейку и будет обьячеина. Быстрая вода создает дополнительное давление, которое может выталкивать рыбу из сети.

Однако соответствующая скорость течения также может сыграть положительную роль в удержании рыбы. Если скорость течения воды ниже, то это может создать благоприятные условия для образования вихрей и турбулентности, которые могут помешать рыбе выйти из сети. Также низкая скорость течения уменьшает поток воды через ячейки сети, что увеличивает вероятность задержания рыбы в них.

Оптимальная скорость течения потока воды в ячейках сети может зависеть от различных факторов, таких как вид рыбы, размер ячеек и конструкция сети. Для достижения максимальной эффективности удержания рыбы необходимо тщательно подобрать параметры сети и соблюдать рекомендации профессионалов, учитывая особенности конкретных условий воды и окружающей среды.

Заключение

Сравнение сетчатых пластин из гладких изделий на разных углах атаки демонстрирует важность учета структурных и физических свойств материалов при анализе их поведения в

различных ситуациях. Это исследование может быть полезным при проектировании и создании материалов для определенных задач.

В целом наше исследование дает ценную информацию о гидродинамических характеристиках сетных полотен, используемых в рыболовстве, которую также можно использовать для оптимизации конструкции.

Список источников

1. Пилипчук Д.А., Веренич Т.Н., Григорьева Ю.А. Оценка нахождения гидродинамических коэффициентов с использованием вычислительной гидродинамики // Научные труды Дальрыбвтуза. 2022. Т. 62, № 4. С. 94–101.

2. Klebert P., Lader P., Gansel L., Oppedal F., 2013. Hydrodynamic interactions on net panel and aquaculture fish cages: A review. *Ocean Eng.* 58. 260–274. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2012.11.006>.

3. Tabatabaian M. CFD module. Mercury Learning and Information, 2015.

4. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. 110 с.

5. Endresen P.C., Føre, M., Fredheim A., Kristiansen D., Enerhaug B. Numerical modeling of wake effect on aquaculture nets. In: *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. Vol. 3: Materials Technology; Ocean Space Utilization. Nantes, France. 2013. <http://dx.doi.org/10.1115/OMAE2013-11446>.

6. Гиргидов Артур Давидович. О лобовом сопротивлении движению цилиндра // *Magazine of Civil Engineering*. 2011. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-lobovom-soprotivlenii-dvizheniyu-tsilindra> (дата обращения: 16.04.2023).

7. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкости. М.: Мир, 1991. Т. 1–2. 1054 с.

8. Калякин Александр Михайлович, Чеснокова Елена Вадимовна. Обобщенная модель обтекания препятствия открытым турбулентным потоком // *Magazine of Civil Engineering*. 2015. № 3(55). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obobschennaya-model-obtekaniya-prepyatstviya-otkrytym-turbulentnym-potokom> (дата обращения: 16.04.2023).

9. Ильгисонис И.В. Введение в теоретическую гидродинамику: учеб. пособие. М.: Российский университет дружбы народов, 2010. 132 с. ISBN 978-5-209-03561-9. EDN SUFIRL.

10. Tang H., Hu F., Xu L., Dong S., Zhou C., Wang X., 2019. Variations in hydrodynamic characteristics of netting panels with various twine materials, knot types, and weave patterns at small attack angles. *Sci. Rep.* 9, 1923. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-35907-1>.

11. Проскурнин Евгений Дмитриевич. Проверка применимости формул для расчета коэффициента гидродинамического сопротивления сетных элементов // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2019. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proverka-primenimosti-formul-dlya-rascheta-koeffitsienta-gidrodinamicheskogo-soprotivleniya-setnyh-elementov> (дата обращения: 16.04.2023).

12. Delany N.K., Sorensen N.E. Low-Speed Drag of Cylinders of Various Shapes, National Advisory Committee for Aeronautics. Technical Note 3038, 1953. P. 23.

13. Zhou C. et al. Hydrodynamic characteristics of knotless nylon netting normal to free stream and effect of inclination // *Ocean Engineering*. 2015. Vol. 110. P. 89–97.

References

1. Pilipchuk D.A., Verenich T.N., Grigorieva Yu.A. Estimation of finding hydrodynamic coefficients using computational fluid dynamics // *Scientific works of Dalrybvuz*. 2022. Vol. 62, No. 4. P. 94–101.

2. Klebert P., Lader P., Gansel L., Oppedal F., 2013. Hydrodynamic interactions on net panels and aquaculture fish cages: A review. *Ocean Eng.* 58. 260–274. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2012.11.006>.

3. Tabatabaian M. CFD module. Mercury Learning and Information, 2015.
4. Savitsky G. A. Wind load on structures. Moscow: Publishing House of Construction Literature, 1972. 110 p.
5. Endresen P.C., Føre M., Fredheim A., Kristiansen D., Enerhaug B. Numerical modeling of wake effect on aquaculture nets. In: Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Vol. 3: Materials Technology; Ocean Space Utilization. Nantes, France. 2013. <http://dx.doi.org/10.1115/OMAE2013-11446>.
6. Girgidov Artur Davidovich. About the frontal resistance to the movement of the cylinder // Magazine of Civil Engineering. 2011. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-lobovom-soprotivlenii-dvizheniyu-tsilindra> (access date: 16.04.2023).
7. Fletcher K. Computational methods in fluid dynamics. M.: Mir, 1991. Vol. 1–2. 1054 p.
8. Kalyakin Alexander Mikhailovich, Chesnokova Elena Vadimovna. Generalized model of open turbulent flow around an obstacle // Magazine of Civil Engineering. 2015. No. 3(55). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obobschennaya-model-obtekaniya-prepyatstviya-otkrytym-turbulentnym-potokom> (date of access: 16.04.2023).
9. Ilgisonis I.V. Introduction to theoretical hydrodynamics: textbook. Moscow: Peoples' Friendship University of Russia, 2010. 132 p. ISBN 978-5-209-03561-9. EDN SUFIRL.
10. Tang H., Hu F., Xu L., Dong S., Zhou C., Wang X., 2019. Variations in hydrodynamic characteristics of netting panels with various twine materials, knot types, and weave patterns at small attack angles. Sci. Rep. 9, 1923. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-35907-1>.
11. Proskurnin Evgeniy Dmitrievich. Checking the applicability of formulas for calculating the coefficient of hydrodynamic resistance of network elements // Bulletin of science and education of the North-West of Russia. 2019. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proverka-primenimosti-formul-dlya-rascheta-koeffitsienta-gidrodinamicheskogo-soprotivleniya-setnyh-elementov> (date of access: 16.04.2023).
12. Delany N.K., Sorensen N.E. Low-Speed Drag of Cylinders of Various Shapes, National Advisory Committee for Aeronautics. Technical Note 3038, 1953. P. 23.
13. Zhou C. et al. Hydrodynamic characteristics of knotless nylon netting normal to free flow and effect of inclination // Ocean Engineering. 2015. Vol. 110. P. 89–97.

Информация об авторах

Д.А. Пилипчук – старший преподаватель кафедры промышленного рыболовства, SPIN-код: 1052-9799, AuthorID: 833086;
Т.Н. Веренич – студентка группы ПРб-322.

Information about the authors

D.A. Pilipchuk – Senior Lecturer of the Department of Industrial Fisheries, SPIN-code: 1052-9799, AuthorID: 833086;
T.N. Verenich – Student of the PRb-322 group.

Статья поступила в редакцию 01.12.2023; одобрена после рецензирования 04.12. 2023; принята к публикации 05.12.2023.

The article was submitted 01.12.2023; approved after reviewing 04.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.