

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья

УДК 532.5+639.2.081:681.3

**Оценка нахождения гидродинамических коэффициентов  
с использованием вычислительной гидродинамики**

**Дмитрий Анатольевич Пилипчук<sup>1</sup>, Татьяна Николаевна Веренич<sup>2</sup>, Юлия Александровна Григорьева<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup>Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

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

<sup>2</sup> verenich\_tanya\_rus@mail.ru

<sup>3</sup> yuliagrigoreva1212@gmail.com

**Аннотация.** Перед построением спроектированного изделия гидродинамическая модель может быть использована для определения присущих ей характеристик. Уравнения, описывающие характеристики изделия, являются наиболее широко используемой гидродинамической моделью, в которой необходимо оценить эти коэффициенты. Эти коэффициенты обычно определяются с помощью обычных экспериментальных и аналитических методов. Наиболее распространенным методом на сегодняшний день являются выборочные модельные тесты, но подход с отдельным определением отнимает много времени и затрудняет оценку надежности модели. Предлагается эффективный подход к оценке гидродинамических коэффициентов с использованием вычислительной гидродинамики (CFD). Вместо тестов на модели в режиме реального времени предлагаемый виртуальный тест в свободном режиме может предоставить всю информацию, необходимую для определения всех гидродинамических коэффициентов только в одном моделировании.

**Ключевые слова:** вычислительная гидродинамика, CFD, коэффициенты, модель, канат, расчет

**Для цитирования:** 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.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHING

Original article

**Estimation of finding hydrodynamic coefficients using computational fluid dynamics**

**Dmitry A. Pilipchuk<sup>1</sup>, Tatiana N. Verenich<sup>2</sup>, Yulia A. Grigorieva<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup>Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

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

<sup>2</sup> verenich\_tanya\_rus@mail.ru

<sup>3</sup> yuliagrigoreva1212@gmail.com

**Abstract.** Before constructing the designed product, a hydrodynamic model can be used to determine its inherent characteristics. The equations describing the characteristics of the product are the most widely used hydrodynamic model in which it is necessary to estimate these coefficients. These coefficients are usually determined using conventional experimental and analytical methods. The most common method today is selective model tests, but the approach with a separate definition takes a lot of time and makes it difficult to assess the reliability of the model. This paper proposes an effective approach to the estimation of hydrodynamic coefficients using computational fluid dynamics (CFD). Instead of real-time model tests, the proposed virtual test in free mode can provide all the information necessary to determine all hydrodynamic coefficients in only one simulation.

**Keywords:** computational fluid dynamics, CFD, coefficients, model, rope, calculation

**For citation:** Pilipchuk D.A., Verenich T.N., Grigorieva Y.A. Estimation of finding hydrodynamic coefficients using computational fluid dynamics. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2022;62(4):94–101. (in Russ.).

## Введение

Исследователями замечено, что при проведении экспериментальных работ по гидромеханике в открытых водоемах, на водных полигонах или непосредственно в море на результаты оказывают влияние условия проведения эксперимента.

В море на исследуемый объект влияет ветер, течение, волнение, это сильно сказывается на результате проведенного эксперимента. В связи с тем, что в море исследуемый объект в натуральную величину, сложно использовать измерительную аппаратуру и трудно измерять многие параметры орудия лова. По этой причине все орудия лова вначале испытывают в лабораторных условиях, в последующем производится пересчет результатов с модели на натуру.

При проведении экспериментов необходимо заранее учесть особенности среды, где будет проведены исследования.

## Объекты и методы исследований

Для проведения экспериментов существует несколько установок, предназначенных для исследования гидромеханических качеств тел: опытовые бассейны, гидроканалы и гидролотки.

Основным элементом опытовых бассейнов, рис. 1, являются резервуары с водой [1].



Рис. 1. Опытный бассейн [1]  
Fig.1. Experimental pool

Отличительной особенностью этих бассейнов являются условия движения объекта исследования, которое заключается в следующем: объект в бассейне движется аналогично реальным условиям. К тому же в бассейне отсутствует влияние внешней среды.

Но есть существенный недостаток – эксперимент ограничен временными рамками.

За последние десятилетия были построены ряд установок, получивших названия «гидролоток» и «гидроканал», рис. 2 [2]. В основе установок лежит принцип «обращенного» движения, который существует в аэродинамических трубах. Гидролотки – это замкнутые каналы, по которым течет вода. Максимальная скорость потока, которую можно развить в них, 1,0–1,5 м/с. К тому же скорость потока ограничена высотой свободной поверхности на рабочем участке.

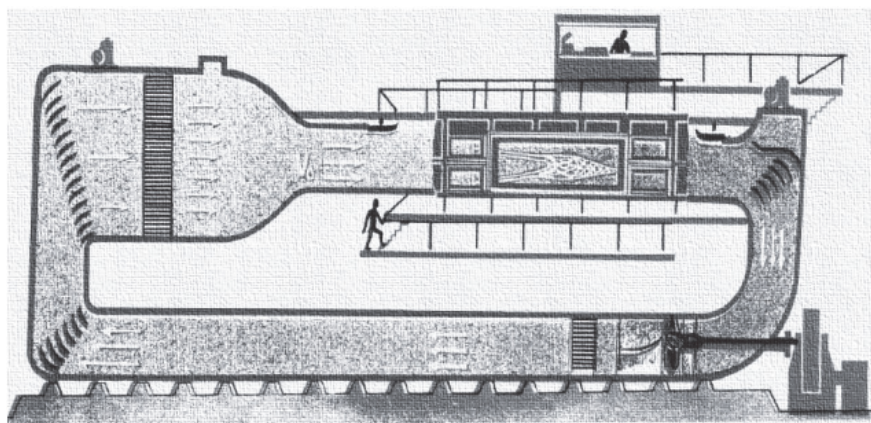


Рис. 2. Гидроканал ОАО «МариНПО» [2]  
Fig. 2. Hydrochannel OJSCCompany MariNPO [2]

Гидроканалы по конструкции подобны аэродинамическим трубам. Они дают возможность сформировать поток по всему объему канала, а также увеличить скорость до 4 м/с и более. Но с увеличением скорости растет и турбулентность потока, что негативным образом влияет на результаты проведенных экспериментов.

Проведенный анализ установок показал, что каждая из них имеет свои преимущества и недостатки. В большинстве случаев исследование гидродинамического сопротивления образцов можно выполнять на этих установках. Но в таких установках нет возможности в изучении последствий движения жидкости при встрече с орудием лова.

С развитием гидродинамики математические модели усложнились, из-за этого стало невозможно проводить анализ без применения численных методов и компьютерных технологий. Так появилась вычислительная гидродинамика (CFD – Computer Fluid Dynamics) [3, 4]. База вычислительных алгоритмов использовалась для создания программ, при помощи которых исследователи могли решать самые сложные задачи.

Численное моделирование задач гидродинамики ближе к экспериментальной, нежели к теоретической гидродинамике [5, 6]. Проведение расчета на ЭВМ очень схоже с проведением физического эксперимента. По сути, исследователь задает параметры, а затем наблюдает, что при этом произойдет. При проведении расчетов возможны открытия новых физических явлений; так, Кемпбелл и Мюллер [1968] открыли один случай дозвукового отрыва в численном эксперименте и лишь после этого обнаружили его при экспериментах в аэродинамических трубах. Но при численном эксперименте исследователь может задаваться различными свойствами среды и смотреть, что произойдет с объектом, или отдельно включать/выключать параметры, тем самым обеспечивая правильность проведения эксперимента. Все это создает преимущества CFD перед другими [7].

Известно, что гидродинамическая сила возникает при движении объекта относительно среды, в которую он помещен. Зная величины этих сил и их направление, можно корректировать габаритные характеристики орудия лова, его поведение в среде, а также его влияние на поведение объекта лова.

Чувствительные рецепторы рыбы способны улавливать самые малые изменения гидродинамических полей, влияющих на их поведение: это поле давлений и векторное поле скорости, которые создаются орудием лова [8, 9].

### Результаты и их обсуждение

Орудия лова состоят в большей степени из ниток, веревок и канатов, поэтому для подтверждения всего вышесказанного мы выбрали объектом исследования цилиндр, так как это тело больше всего похоже на веревку. Качественно сопротивление прямолинейных канатов и ниток подчинено тем же закономерностям, что и сопротивление гладких цилиндров. Для цилиндра разными исследователями были получены гидродинамические коэффициенты, эти данные нам помогут проверить адекватность использования компьютерных программ исследуемого объекта [10].

Итак, имеется цилиндр, ось вращения которого направлена перпендикулярно потоку, рис. 3. Расчет будем проводить при разных числах Рейнольдса: 1, 1000 и  $10^5$ .

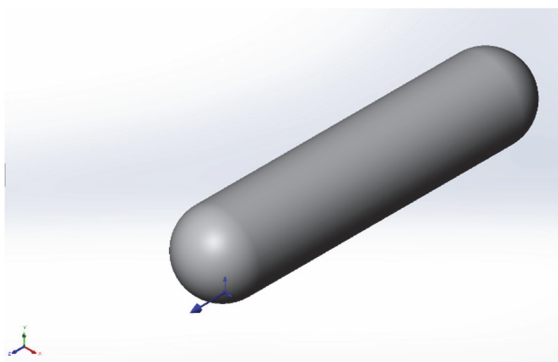


Рис. 3 Гладкий цилиндр  
Fig. 3 Smooth cylinder

Для числа Рейнольдса существует формула

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}, \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр цилиндра;  $V$  – скорость потока;  $\rho$  – плотность;  $\mu$  – динамическая вязкость.

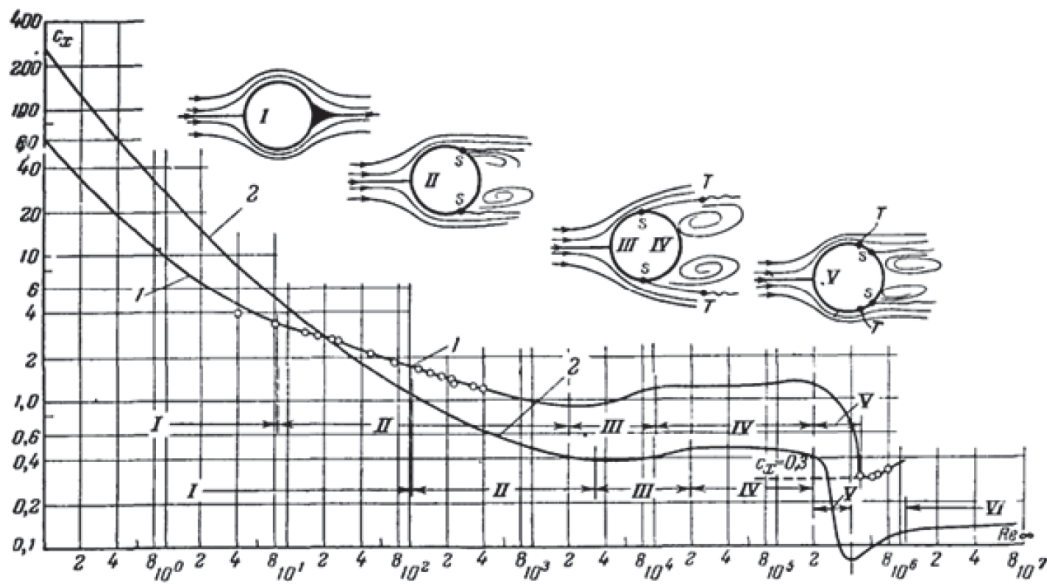
Для определения коэффициента сопротивления цилиндра используется следующая формула:

$$C = \frac{R}{0.5 \times \rho \times V^2 \times D \times L}, \quad (2)$$

где  $R$  – сила сопротивления;  $D$  – диаметр цилиндра;  $L$  – длина цилиндра.

Цель данного исследования – определить коэффициент сопротивления цилиндра и сравнить полученное значение с экспериментальными значениями, рис. 4.

Исходные данные для моделирования:  $Re=1$ ,  $Re=1000$ ,  $Re=10^5$ , давление 101325 Па, температура 20 °С, плотность воды 1015 кг/м<sup>3</sup>, динамическая вязкость  $1.0115 \times 10^{-3}$  Па с.



1 – цилиндр; 2 – шар

Рис. 4. Коэффициенты сопротивления и схемы обтекания шара и цилиндра в зависимости от числа Рейнольдса

Fig. 4. Drag coefficients and flow patterns of the ball and cylinder depending on the Reynolds number

Был промоделирован цилиндр с числом Рейнольдса  $Re=1$ ,  $Re=1000$ ,  $Re=10^5$ , табл. 1.

Таблица 1

**Характеристики цилиндра, полученные при моделировании**

Table 1

**Characteristics of the cylinder obtained in the simulation**

Имя цели	Единица измерения	Значение	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
<b>Число Рейнольдса <math>Re=1</math></b>					
Сила сопротивления	[N]	1,14E-09	1,14226E-09	1,13395E-09	1,14363E-09
Коэффициент сопротивления	[ ]	11,12761446	11,14412838	11,06304538	11,15753856
<b>Число Рейнольдса <math>Re=1000</math></b>					
Сила сопротивления	[N]	0,00010487	0,00010336	0,00010069	0,00010655
Коэффициент сопротивления	[ ]	1,02314461	1,00846315	0,98242387	1,03956444
<b>Число Рейнольдса <math>Re=10^5</math></b>					
Сила сопротивления	[N]	1,28959749	1,28951901	1,10724295	1,36725458
Коэффициент сопротивления	[ ]	1,22792643	1,23366928	1,09756372	1,43674538

Предпочтительнее выбирать средние значения коэффициента сопротивления. Так и в нестационарной задаче для средних значений менее заметны отклонения. Далее по полученным данным произвели численный расчет, табл. 2.

Таблица 2

**Численные расчеты коэффициента сопротивления**

Table 2

**Numerical calculations of the resistance coefficient**

Число Рейнольдса $Re=1$	Число Рейнольдса $Re=1000$	Число Рейнольдса $Re=10^5$
$d = 0,01$ м диаметр цилиндра	$d = 0,01$ м диаметр цилиндра	$d = 1$ м диаметр цилиндра
$l = 0,01$ м длина цилиндра	$l = 0,01$ м длина цилиндра	$l = 1$ м длина цилиндра
$t := 20$ °C температура морской воды	$t := 20$ °C температура морской воды	$t := 20$ °C температура морской воды
$\rho := 1015$ кг/м <sup>3</sup> плотность морской воды	$\rho := 1015$ кг/м <sup>3</sup> плотность морской воды	$\rho := 1015$ кг/м <sup>3</sup> плотность морской воды
$Re := 1$ число Рейнольдса	$Re := 1 \cdot 10^3$ число Рейнольдса	$Re := 1 \cdot 10^5$ число Рейнольдса
$\mu := 0,0010115$ Па·с динамическая вязкость	$\mu := 0,0010115$ Па·с динамическая вязкость	$\mu := 0,0010115$ Па·с динамическая вязкость
$v = 1$ м/с скорость потока	$v = 1$ м/с скорость потока	$v = 1$ м/с скорость потока
$Rx := 1,14 \cdot 10^{-9}$ Н сопротивление цилиндра	$Rx := 0,0001$ Н сопротивление цилиндра	$Rx := 1,2$ Н сопротивление цилиндра
$Cx = 11,3094$ коэффициент гидродинамического сопротивления	$Cx = 1,0021$ коэффициент гидродинамического сопротивления	$Cx = 1,1905$ коэффициент гидродинамического сопротивления

Данные, полученные при моделировании в компьютерной программе и при расчете численным методом, показаны на рис. 5. Красной точкой обозначены коэффициенты сопротивления, полученные при моделировании в программе, зеленой – данные расчетов. Проанализировав полученные данные, можно констатировать, что использование Computer Fluid Dynamics для нахождения коэффициентов гидродинамического сопротивления подтверждает их достоверность.

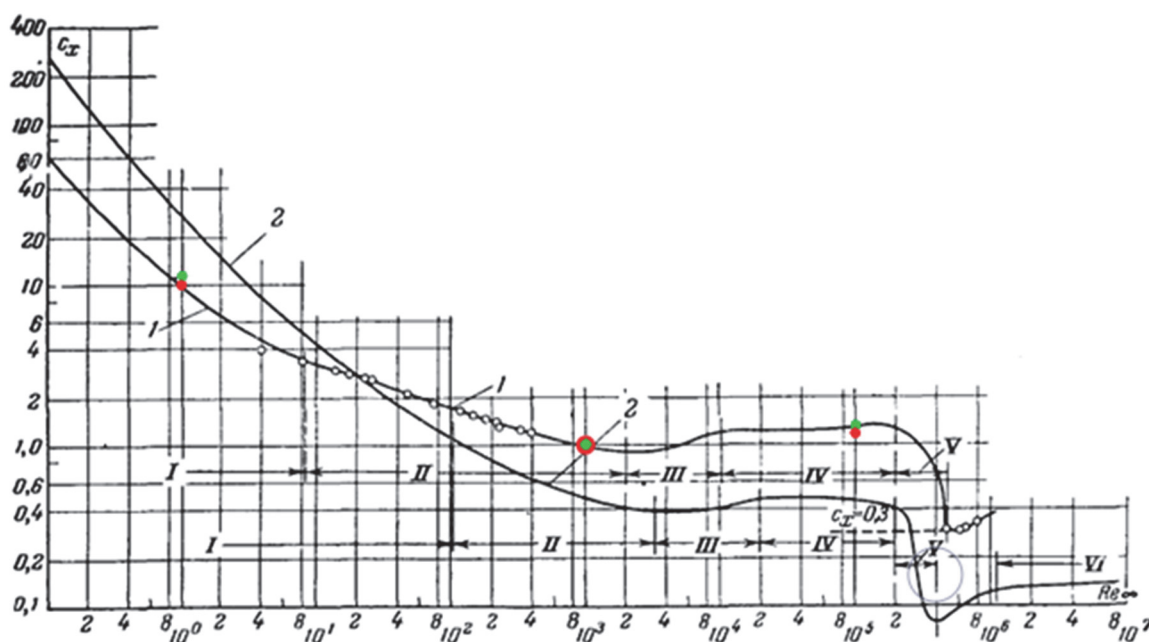


Рис. 5. Результат сравнения  
Fig. 5. Comparison result

Процессы, происходящие при движении объекта в среде, можно анализировать на основе карт скоростей и давлений, в которых запечатлен характер течения, среда вокруг объекта, рис. 6.

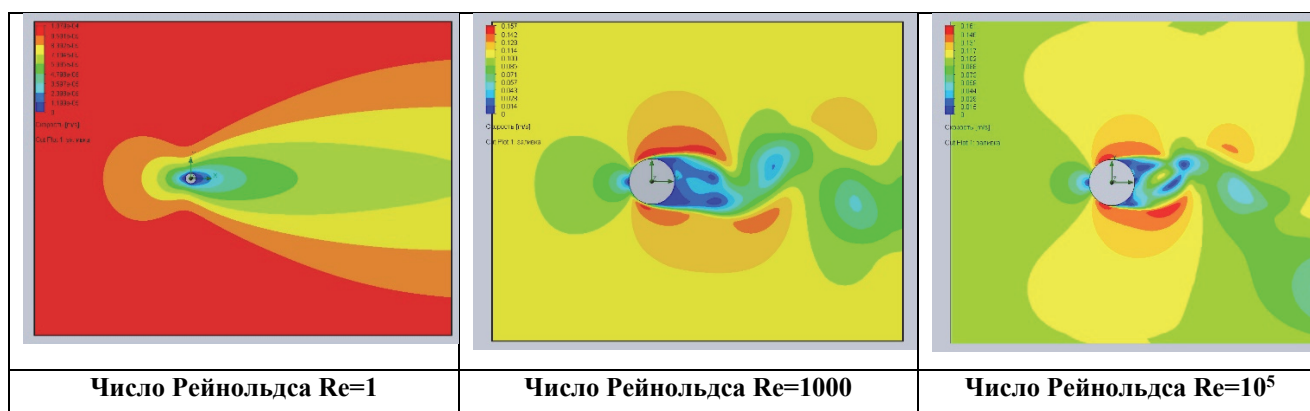


Рис. 6. Обтекание цилиндра жидкостью при разных числах Рейнольдса  
Fig. 6. Fluid flow around the cylinder at different Reynolds numbers

Для обеспечения точности и достоверности данных, полученных численным методом, всегда необходимо проверять их на адекватность.

Существует несколько способов для проверки адекватности:

- 1) сравнение расчетных данных с данными физического эксперимента;
- 2) сравнение с расчётами по аналитическим моделям или инженерным методикам;
- 3) проведение серии численных расчётов в сравнении с результатами, выполненными другими методами [11, 12].

Для получения адекватных результатов исследователям необходимо не только нажимать на кнопки и ждать, пока программа выдаст данные, но и иметь определенный багаж знаний.

### Заключение

В большинстве случаев физические процессы, протекающие в морской гидродинамике, изучаются в курсе «Теория рыболовства», но для восприятия этого необходимо обязательно сопоставлять её с реальными процессами и опытом, или путем эксперимента на моделях орудий рыболовства. То есть при проведении физического эксперимента необходимо учитывать много факторов, но это не всегда возможно. Поэтому грамотно подготовленный компьютерный эксперимент может дать не только статистические данные, но и физическое понимание происходящих процессов.

### Список источников

1. Электронная версия журнала «Морское судоходство». URL: [https://rus-shipping.ru/upload/stats/rtf/401\\_30.jpg](https://rus-shipping.ru/upload/stats/rtf/401_30.jpg) (дата обращения: 20.10.2022).
2. Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: материалы I Нац. заоч. науч.- техн. конф. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2017. 347 с.
3. Ansys Inc. ANSYS FLUENT 12.0/12.1 Documentation. ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide [Электронный ресурс] // CRESCO Virtual Lab NEPTUNIUS: [сайт]. [2009]. URL: <http://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/index.htm> (дата обращения: 28.11.2022).
4. Ferziger J.H., Peric M. Computational Methods for Fluid Dynamics 3, rev. edition. Springer, 2002.
5. Биркгоф, Г. Гидродинамика. М.: ИИЛ, 1963. 244 с.
6. Чижумов С.Д. Численные модели в задачах динамики судна. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1999. 182 с.

7. Чижиумов С.Д. Основы гидродинамики: учеб. пособие. Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2007. 106 с.
8. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкости. М.: Мир, 1991. Т. 1–2. 1054 с.
9. Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика. М.: Стройиздат, 1975. 323 с.
10. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 840 с.
11. Шатихина Т.А. Газодинамика. 2009.
12. Батурич О.В., Батурич Н.В., Матвеев В.Н. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса Fluent: учеб. пособие. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. 151 с.

### References

1. Electronic version of the journal "Maritime Navigation". URL: [https://rus-shipping.ru/upload/stats/rtf/401\\_30.jpg](https://rus-shipping.ru/upload/stats/rtf/401_30.jpg) (accessed: 20.10.2022).
2. Innovative development of the fishing industry in the context of ensuring food security of the Russian Federation: materials of the I National part-time scientific.- tech. conf. Vladivostok: Dalrybvuz, 2017. 347 p.
3. Ansys Inc. ANSYS FLUENT 12.0/12.1 Documentation. ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide [Electronic resource] // CRESCO Virtual Lab NEPTUNIUS: [website]. [2009]. URL: <http://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/index.htm> (accessed: 11/28/2022).
4. Ferziger J.H., Peric M. Computational Methods for Fluid Dynamics 3, rev. edition. Springer, 2002.
5. Birkhoff, G. Hydrodynamics. M.: IIL, 1963. 244 p.
6. Chizhiumov S.D. Numerical models in ship dynamics problems. Vladivostok: Publishing House of the Far East. un-ta, 1999. 182 p.
7. Chizhiumov S.D. Fundamentals of hydrodynamics: textbook. manual. Komsomolsk-on-Amur: GOVPO "KnAGTU", 2007. 106 p.
8. Fletcher K. Computational methods in fluid dynamics. M.: Mir, 1991. Vol. 1–2. 1054 p.
9. Altshul A.D. Hydraulics and Aerodynamics. M.: Stroyizdat, 1975. 323 s.
10. Loitsyansky L.G. Mechanics of liquid and gas. M.: Bustard, 2003. 840 s.
11. Shatikhina T.A. Hydrogas Dynamics. 2009.
12. Baturin O.V., Baturin N.V., Matveev V.N. Calculation of flows of liquids and gases using the universal software package Fluent. Study guide. Samara: Publishing House of the Samara State Aerospace. un-ta, 2009. 151 p.

### Информация об авторах

Д.А. Пилипчук – старший преподаватель кафедры «Промышленное рыболовство», SPIN-код: 1052-9799, AuthorID: 833086;  
Т.Н. Веренич – студент группы ПРб-222;  
Ю.А. Григорьева – студент группы ПРб-222.

### 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-222 group;  
Y.A. Grigorieva – Student of the PRb-222 group.

Статья поступила в редакцию 05.12.2022, одобрена после рецензирования 07.12.2022, принята к публикации 09.12.2022.

The article was submitted 05.12.2022, approved after reviewing 07.12.2022, accepted for publication 09.12.2022.