

Научная статья

УДК 639.2

DOI 10.46845/1997-3071-2023-68-35-45

### Экспериментальные исследования плавучего якоря

Александр Алексеевич Недоступ<sup>1</sup>, Павел Владимирович Насенков<sup>2</sup>,  
Иван Сергеевич Белозер<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград,  
Россия

<sup>1</sup>nedostup@klgtu.ru

<sup>2</sup>pavel.nasenkov@klgtu.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований, связанных с определением (расчетом) агрегатного сопротивления плавучего якоря. Как известно, это приспособление удерживает маломерное судно на месте при сильном течении, ветре, высоких волнах. В данном эксперименте плавучий якорь необходим для оценки располагаемой тяги судна в условиях полигона, т. е. его буксировки и определения скорости траления моторной лодкой модели "Ока-4". Опыты выполняли в гидроканале ООО "Фишеринг Сервис" г. Калининграда и на полигоне в Березовском карьере, находящемся в Гвардейском районе Калининградской области. В исследованиях принимали участие студенты четвертого курса бакалавриата, которые часть полученных экспериментальных данных использовали для написания своих выпускных квалификационных работ. Проведенные опыты позволили обосновать тяговые характеристики двух спаренных моторных лодок "Ока-4" с двигателями мощностью 25 л. с. каждый. Исследования проходили как в лабораторных, так и при прочих равных условиях в окружающей обстановке. Возможность использования тралового лова ряпушки (*Coregonus albula*) в оз. Виштынецком является одной из приоритетных задач региона в области рыбного промысла, очень важного с точки зрения обоснования общего допустимого улова (ОДУ) этого вида рыб, поскольку спроектированный трал обеспечит существенное приращение улова ценного вида гидробионтов в оз. Виштынецком.

**Ключевые слова:** плавучий якорь, эксперименты, гидроканал, полигон, лодка, сопротивление, тяга

**Финансирование:** исследование выполнено в рамках государственного задания по теме "Разработка физических, математических и предсказательных моделей процессов эксплуатации донного и разноглубинного траловых комплексов".

**Для цитирования:** Недоступ А. А., Насенков П. В., Белозер И. С. Экспериментальные исследования плавучего якоря // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 35–45. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-35-45.

Original article

### Experimental studies of a floating anchor

Aleksandr A. Nedostup<sup>1</sup>, Pavel V. Nasenkov<sup>2</sup>, Ivan S. Belozher<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>nedostup@klgtu.ru

<sup>2</sup>pavel.nasenkov@klgtu.ru

**Abstract.** The paper presents the results of experimental studies related to the determination (calculation) of the aggregate resistance of a floating anchor. As you know, a floating anchor is a device that keeps a small vessel in place in strong currents, wind, high waves. In our study, a floating anchor is necessary to assess the available thrust of the vessel in the conditions of the landfill, i.e. its towing and determination of the speed of trawling (towing) by a motor boat model "Oka-4". The experiments were carried out in the water channel of LLC "Fishing Service" in Kaliningrad and at the Berezovsky quarry test site, which is located in the Gvardeisk district of the Kaliningrad region. Fourth-year undergraduate students took part in the experimental research. They used part of the experimental data obtained to write their final qualifying theses. The experimental studies carried out by us made it possible to substantiate the traction characteristics of two paired motor boats "Oka-4" with engines, each with a power of 25 hp. The studies were carried out under both laboratory and other environment conditions being equal. Trawling of such a prey as vendace (*Coregonus albula*) in Lake Vishtynetskoye is one of the priority tasks for the Kaliningrad region in the field of fishing. This type of fishery is important from the point of view of substantiating the total allowable catch (TAC) for catching vendace, since the designed trawl for catching this fish species will be operated and will significantly increase the catch of a valuable species of hydrobionts in Lake Vishtynetskoye.

**Keywords:** *floating anchor, experiments, hydrochannel, test site, boat, resistance, thrust*

**Funding:** The study was carried out as part of the state assignment on the topic "Development of physical, mathematical and predictive models for the operation of bottom and mid-water trawl systems".

**For citation:** Nedostup A. A., Nasenkov V. P., Belozher S. I. Experimental studies of a floating anchor. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (68): 35–45. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-35-45.

### ВВЕДЕНИЕ

Задача проектирования траля сводится к обоснованию агрегатного сопротивления траловой системы  $R_a$  с учетом располагаемой тяги судна  $P_p$  [1]. Причем последняя должна обеспечиваться соответствующей скоростью траления, иначе рыбу не поймать:

$$R_a \leq P_p, \quad (1)$$

$$P_p = f(k, v), \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент использования тяги,  $k \leq 1$ ;  $v$  – скорость траления.

Оценить располагаемую тягу судна  $P_p$  возможно благодаря нескольким методам [2]:

- непосредственно рассчитать  $P_p$  по данным двигателя, гребного винта и характеристик корпуса судна, а также его генератора;
- экспериментально измерить  $P_p$ .

Остановимся на втором методе определения  $P_p$ , связанном с задачей проектирования разноглубинного трала для вылова ряпушки (*Coregonus albula*) в оз. Виштынецком. Разработка проекта имеет первостепенное значение для Калининградской области в плане обоснования общего допустимого улова (ОДУ) данного вида рыб, поскольку в результате использования трала существенно возрастает добыча ценного вида гидробионтов.

В связи с тем, что предполагается эксплуатировать разноглубинный трал на оз. Виштынецком совместно с лодкой "Ока-4", ее располагаемую тягу  $P_p$  оценим с помощью плавучего якоря (рис. 1).

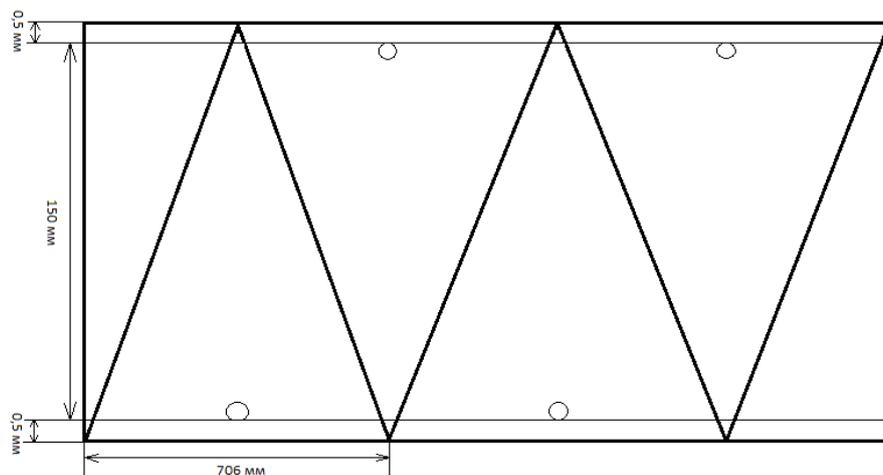


Рис. 1. Плавучий якорь (развертка)  
Fig. 1. Floating anchor (development drawing)

Характеристики плавучего якоря приводятся в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики плавучего якоря  
Table 1. Characteristics of a floating anchor

Диаметр основания $D$ , мм	Диаметр выходного отверстия $d$ , мм	Длина образующей $L$ , м	Материал
900	130	1,5	Брезент

Плавучий якорь – это приспособление, главной задачей которого является удержание маломерного судна на месте, невзирая на сильное течение, ветер, высокие волны и т. д. Важное значение имеют размеры якоря, поскольку от них зависит эффективность его использования, равно как и при выборе обычного основного параметра – веса, который должен быть достаточным для удержания судна на месте. Плавучий якорь (рис. 1) имеет усеченную конусовидную форму, изготавливается из брезента. В основание его вшивается металлический обруч: это делается с целью укрепления конструкции. По сути, он представляет собой

сачок с отрезанным концом, но ручка заменена на четыре стропа, которые крепятся к основному канату, соединяющему устройство с лодкой. Также к его основанию присоединяется трос для вытягивания из воды. Конструкция оснащена буйком, указывающим на его местоположение в воде относительно судна [3].

Плавающий якорь служит оценкой располагаемой тяги судна  $P_p$  в условиях полигона, т. е. его буксировки и определения скорости траления.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для обоснования располагаемой тяги судна  $P_p$  были поставлены задачи определения агрегатного сопротивления:

- плавучего якоря  $R_a$  в гидроканале ООО "Фишеринг Сервис";
- плавучего якоря и располагаемой тяги  $P_p$  лодки "Ока-4" на полигоне в Березовском карьере.

Первая задача по определению агрегатного сопротивления плавучего якоря  $R_a$  в гидроканале ООО "Фишеринг Сервис" необходима для построения зависимости вида

$$R_a = f(v), \quad (3)$$

причем  $k=1$ .

Вторая задача по определению располагаемой тяги  $P_p$  лодки "Ока-4" на полигоне в Березовском карьере сводится к поиску на зависимости (3) располагаемой тяги  $P_p$  лодки и агрегатного сопротивления  $R_a$ . Причем,  $v$  и  $R_a$  являются входными и первостепенными параметрами при проектировании разноглубинного трала для вылова ряпушки (*Coregonus albula*) в оз. Виштынецком.

### МЕТОДЫ

Опыты в гидроканале ООО "Фишеринг Сервис" с плавучим якорем для определения его агрегатного сопротивления  $R_a$  проходили в ноябре 2021 г. В табл. 2 сведены размеры экспериментальной конструкции.

Таблица 2. Размеры экспериментальной конструкции  
 Table 2. Dimensions of the experimental design

Длина строп $l_c$ , м	Длина оттяжек $l$ , м	Расстояние между креплениями оттяжек $L_d$ , м	Горизонт расположения крепления тензодатчика $h$ , м
1,3	5,0	2,12	0,5

На рис. 2 изображены экспериментальная конструкция и плавающий якорь.

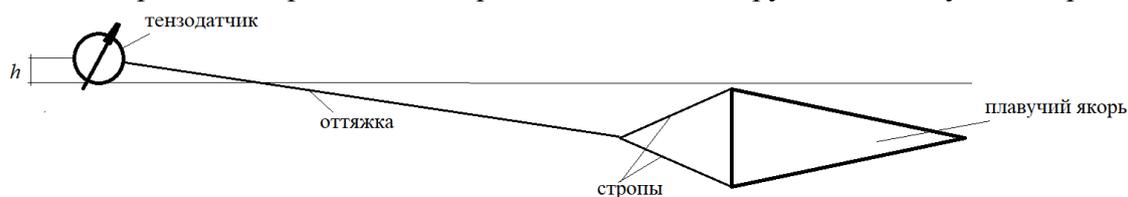


Рис. 2. Экспериментальная конструкция и плавающий якорь  
 Fig. 2. Experimental design and afloat anchor

На рис. 3 показаны гидроканал ООО "Фишеринг Сервис" и испытания плавучего якоря, на рис. 4 и 5 – плавучий якорь в ходе экспериментов. В процессе исследований снимались показания тензодатчика измерительной станции МПС-200 (см. рис. 6) и углы ориентации оттяжек. Все данные занесены в табл. 3. Значения агрегатного сопротивления плавучего якоря  $R_a$  получены по формуле [4]:

$$R_a = NT \cos\left(\arcsin\left(\frac{L_d - D}{2(l + l_c)}\right)\right) \cos\left(\arcsin\left(\frac{h}{l + l_c}\right)\right), \quad (4)$$

где  $N$  – количество оттяжек,  $N=2$ ;  $T$  – натяжение в оттяжке (показание тензодатчика).

Угол ориентации оттяжки в горизонтальной плоскости  $\alpha$  определяется по выражению

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{L_d - D}{2(l + l_c)}\right), \quad (5)$$

угол ориентации оттяжки в вертикальной плоскости  $\beta$  вычисляется по формуле

$$\beta = \arcsin\left(\frac{h}{l + l_c}\right). \quad (6)$$



Рис. 3. Гидроканал ООО "Фишеринг Сервис"  
Fig. 3. LLC "Fishing Service" hydrochannel

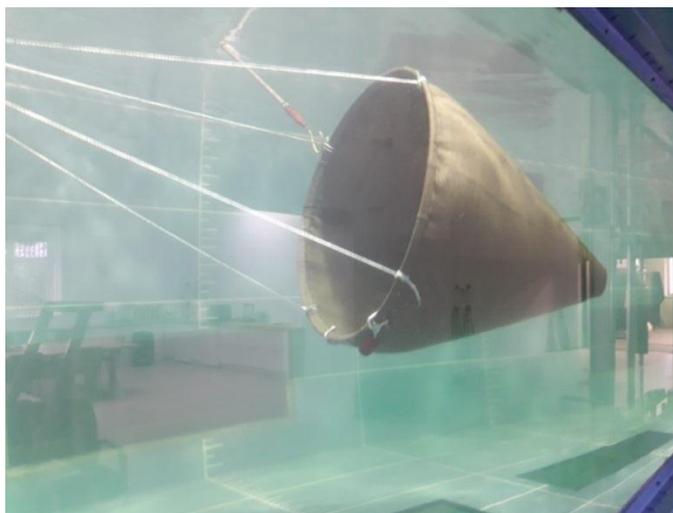


Рис. 4. Плавающий якорь в ходе экспериментов  
Fig. 4. Floating anchor during experiments



Рис. 5. Плавающий якорь в ходе экспериментов  
Fig. 5. Floating anchor during experiments



Рис. 6. Тензометрическая станция MIC-200  
Fig. 6. Tenometric station MIC-200

Таблица 3. Экспериментальные данные  
 Table 3. Experimental data

№ п/п	Скорость потока воды $v$ , м/с	Угол ориентации оттяжки в горизонтальной плоскости $\alpha$ , град	Угол ориентации оттяжки в вертикальной плоскости $\beta$ , град	Натяжение в оттяжке $T$ , Н	Агрегатное сопротивление плавучего якоря $R_a$ , Н
1	0,5	2,7	4,5	90	179
2	1,0			510	1016
3	2,0			1500	2987
4	2,5			2010	4003

На основании экспериментальных данных табл. 3 построим график зависимости (3), который приведен на рис. 7.

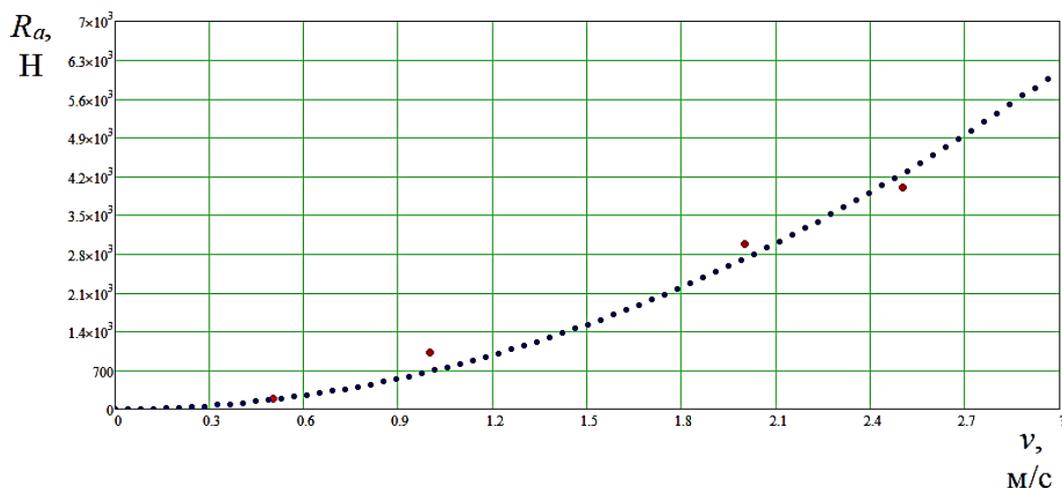


Рис. 7. График зависимости  $R_a=f(v)$

Fig. 7. Dependency graph  $R_a=f(v)$

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По данным табл. 3 определена эмпирическая формула для расчета агрегатного сопротивления плавучего якоря (ошибка не более 10 %):

$$R_a = 1060 \frac{\pi D^2}{4} v^2, \quad (7)$$

где показатель 1060 имеет размерность плотности "кг/м<sup>3</sup>".

На основании формулы для расчета гидродинамического сопротивления плавучего якоря  $R_x$  [1]

$$R_a = R_x = 900 \frac{\pi D^2}{4} v^2, \quad (8)$$

где у показателя 900 размерность плотности "кг/м<sup>3</sup>" при условии, что гидродинамическое сопротивление обруча, оттяжек и строп равно 0. Разница в показателях формул (7) и (8) обусловлена размерами выходного отверстия плавучего якоря.

Сопоставим экспериментальные и расчетные данные сопротивления плавучего якоря (рис. 8).

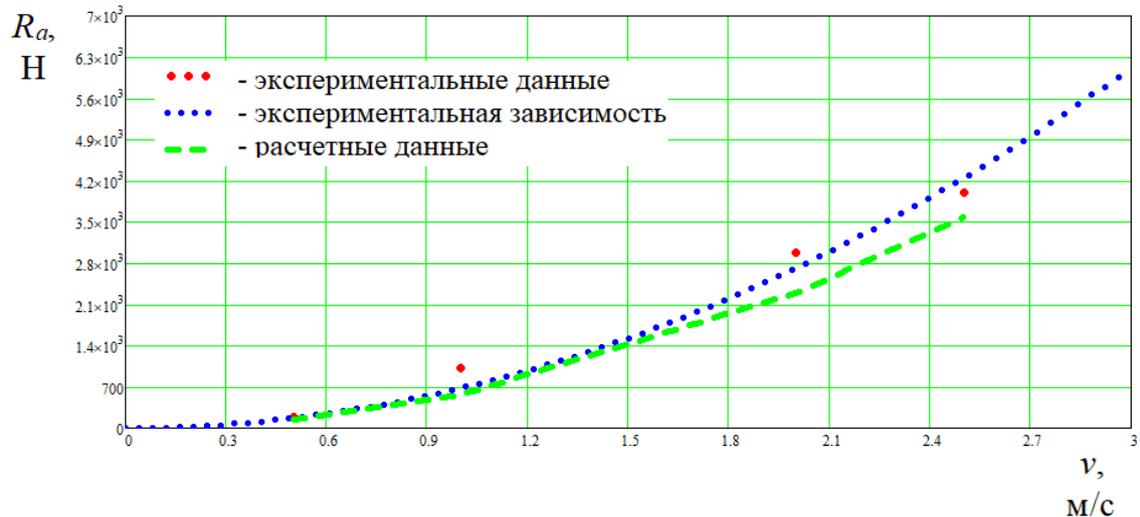


Рис. 8. График зависимости  $R_a=f(v)$   
Fig. 8. Dependency graph  $R_a=f(v)$

Вторая задача по определению располагаемой тяги  $P_p$  лодки «Ока-4» на полигоне в Березовском карьере Гвардейского района Калининградской области, где проходили эксперименты (рис. 9), свелась к поиску на зависимости  $P_p=R_a=f(v)$  максимальной скорости буксировки.



Рис. 9. Эксперименты на полигоне в Березовском карьере  
Fig. 9. Experiments at the test site in the Berezovsky quarry

На рис. 10 изображена схема проведения опытов. В лодке находились три человека.

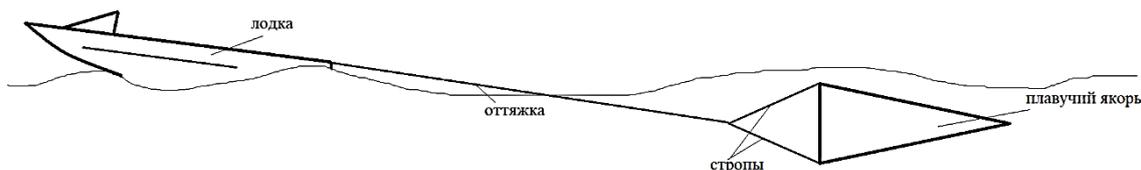


Рис. 10. Схема проведения экспериментов на полигоне  
Fig. 10. Scheme of conducting experiments at the test site

В ходе исследований на полигоне получены данные по скорости буксировки плавучего якоря, а именно  $v=1,5$  м/с. Таким образом, по формуле (7) определим значение агрегатного сопротивления:

$$R_{\alpha} = 1060 \frac{\pi 0,9^2}{4} 1,5^2 = 1517 \text{ Н.}$$

Благодаря программному обеспечению "Система автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства" для обоснования проектных характеристик разноглубинного трала выяснилось, что при скорости траления  $v=1,5$  м/с и  $R_{\alpha}=1517$  Н облавливать ряпушку (*Coregonus albula*) не имеет смысла, так как бросковая скорость у рыбы имеет значения более 2 м/с.

Таким образом, было принято решение использовать при облове ряпушки (*Coregonus albula*) разноглубинным тралом две спаренные лодки "Ока-4" с моторами мощностью 25 л. с. каждый. Выполним соответствующие расчеты. На скорости  $v=1,5$  м/с, соответственно,  $R_{2\alpha}=3035$  Н – агрегатное сопротивление двух плавучих якорей одинаковых размеров, тогда на основании формулы (7) получим

$$D_2 = \frac{1}{v} \sqrt{\frac{2R_{2\alpha}}{1060\pi}} = 1,273 \text{ м.} \quad (9)$$

Определяем максимально возможное агрегатное сопротивление при  $v=2,0$  м/с для двух спаренных лодок «Ока-4»:

$$R_{\alpha} = 1060 \frac{\pi 1,273^2}{4} 2,0^2 = 5,39 \text{ кН.}$$

На основании расчетов с помощью программного обеспечения "Система автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства" для обоснования проектных характеристик разноглубинного трала были получены основные геометрические параметры раскрытия устья трала при  $v=2,0$  м/с:  $L=10$  м – горизонтальное и  $H=11$  м – вертикальное.

Обработка опытных данных велась по общепринятой методике [5, 6].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения экспериментальных исследований получена формула для вычисления сопротивления плавучего якоря (7), точность расчетов по формуле (7) соответствует 95 %. Определены агрегатное сопротивление плавучего якоря  $R_{\alpha}$  в гидроканале ООО "Фишеринг Сервис", агрегатное сопротивление плавучего якоря и располагаемая тяга  $P_p$  лодки "Ока-4" на полигоне в Березовском карьере.

В соответствии с полученными данными по скорости траления и агрегатному сопротивлению плавучего якоря и расчетами с помощью программного обеспечения "Система автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства" обоснованы проектные характеристики разноглубинного трала, которые соответствовали при  $v=2,0$  м/с:  $L=10$  м – горизонтальное и  $H=11$  м – вертикальное раскрытие устья трала.

Разработка проекта разноглубинного трала для лова ряпушки (*Coregonus albula*) в оз. Виштынецком является приоритетной задачей для Калининградской области с точки зрения обоснования общего допустимого улова (ОДУ) данного вида рыб, поскольку при эксплуатации он окажет существенное воздействие на увеличение добычи ценного вида гидробионтов.

### Список источников

1. Розенштейн М. М., Недоступ А. А. Механика орудий рыболовства. Москва: Моркнига, 2011. 528 с.
2. Радциг А. Н. Экспериментальная гидромеханика. Москва: Изд-во МАИ, 2004. 296 с.
3. Шибанов Г. П. Эксплуатация и безопасность парашютных систем. Москва: Машиностроение, 2005. 288 с.
4. Недоступ А. А. Экспериментальная гидромеханика орудий рыболовства. Москва: Моркнига, 2014. 363 с.
5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. 564 с.
6. ЩигOLEV Б. М. Математическая обработка наблюдений. Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. 344 с.

### References

1. Rozenshtein M. M., Nedostup A. A. *Mekhanika orudiy rybolovstva* [Fishing gear mechanics]. Moscow. Morkniga Publ., 2011. 528 p.
2. Radtsig A. N. *Eksperimental'naya gidromekhanika* [Experimental hydromechanics]. Moscow. MAI Publ., 2004. 296 p.
3. Shibanov G. P. *Ekspluatatsiya i bezopasnost' parashyutnykh system* [Operation and safety of parachute systems]. Moscow. Mashinostroenie Publ., 2005. 288 p.
4. Nedostup A. A. *Eksperimental'naya gidromekhanika orudiy rybolovstva* [Experimental hydromechanics of fishing gear]. Moscow. Morkniga Publ., 2014. 363 p.
5. Venttsel' E. S. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Moscow. Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury, 1962. 564 p.
6. Shchigolev B. M. *Matematicheskaya obrabotka nablyudeniy* [Mathematical processing of observations]. Moscow. Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury, 1962. 344 p.

### **Информация об авторах**

**А. А. Недоступ** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыболовства

**П. В. Насенков** – заведующий учебно-исследовательской лабораторией САПР техники промышленного рыболовства, младший научный сотрудник

**И. С. Белозер** – студент кафедры промышленного рыболовства

### **Information about the author**

**A. A. Nedostup** – PhD, Associate Professor, head of the Department of Commercial Fisheries

**P. V. Nasenkov** – Head of the Educational and Research Laboratory of CAD for I Commercial Fishing Techniques, Junior Researcher

**I. S. Belozher** – student of the Department of Commercial Fisheries

Статья поступила в редакцию 17.05.2022; одобрена после рецензирования 07.12.2022; принята к публикации 15.12.2022.

The article was submitted 17.05.2022; approved after reviewing 07.12.2022; accepted for publication 15.12.2022.