

ОБОСНОВАНИЕ ПРАВИЛ ПОДОБИЯ РАЗРЫВНОЙ НАГРУЗКИ РЫБОЛОВНЫХ КРУЧЕНЫХ ИЗДЕЛИЙ¹

А. А. Недоступ, П. В. Насенков, А. О. Ражнев, К. В. Коновалова, С. В. Федоров

*Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Российская Федерация*

Рассмотрена проблема физического моделирования физико-механических свойств рыболовных крученых нитевидных материалов, в частности, одного из самых важных – разрывной нагрузки. Сложности возникают при проведении натуральных экспериментов, особенно когда речь идет о канатах большого диаметра, которые применяются для постройки канатных частей орудий лова. Решением проблемы определения разрывной нагрузки нитевидных изделий может быть использование специализированных разрывных машин и современного программного обеспечения как эффективного инструмента прогнозирования надежности и ресурса данного материала, работающего в сложных условиях динамических и ударных нагрузок. Однако проектирование орудия лова должно начинаться с проведения масштабного моделирования, которое позволит, на основе известных значений натурального материала, правильно рассчитать значения физико-механических свойств проектируемого объекта. Правила подобия разрывной нагрузки рыболовных крученых нитевидных изделий (НИ), применяемых для постройки орудий промышленного рыболовства, позволят моделировать новые элементы этих орудий без проведения натуральных экспериментов. При этом в них уже будут заложены решения проблем, связанные с исследованиями динамических процессов, деформации, разрушения, а также прогнозом надежности и ресурса материала. Предложенная методика, которая основана на определении масштабов подобия НИ, изготовленных из полиамидных волокон, позволит без проведения энергоемких экспериментальных исследований на канатах большого диаметра моделировать разнообразные сетные и канатно-веревочные элементы из НИ различных размеров и структур.

Ключевые слова: промышленное рыболовство, орудие лова, разрывная нагрузка, нитевидные изделия, физико-механические свойства, моделирование, канат, масштаб.

Для цитирования: Недоступ А. А., Насенков П. В., Ражнев А. О., Коновалова К. В., Федоров С. В. Обоснование правил подобия разрывной нагрузки рыболовных крученых изделий // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 1. С. 38–45. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-1-38-45.

Введение

Орудия промышленного рыболовства, такие как тралы, неводы и пр., состоят из набора сетных и канатно-веревочных элементов, которые имеют несимметричные формы, изменяющиеся в процессе лова за счет перераспределения нагрузки внутри элементов. Данный фактор существенно усложняет теоретический анализ при проектировании орудия лова, и его точный расчет становится невозможным.

Создание нового орудия рыболовства подразумевает, в первую очередь, его проектирование, которое невозможно без тщательного исследования предлагаемых элементов, способных улучшить его характеристики, влияющих на главный фактор использования орудия лова – повышенную уловистость – за счет уменьшения, в том числе, сопротивления на данные элементы без ослабления основных физико-механических свойств (ФМС).

Неотъемлемой частью проектирования орудий лова является проведение экспериментальных исследований на моделях, которые должны воспроизводить изучаемое явление так, чтобы можно было от данных эксперимента с модели перейти к натурному (реальному) объекту. При этом проектирование должно включать как математическое, так и физическое моделирование. Для этого процессы, протекающие с моделью, должны соответствовать натурному объекту.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-48-390004.

Из вышеизложенного следует, что ФМС крученых нитевидных изделий (НИ), из которых состоят элементы орудий лова, применяемые как в модельных, так и в натуральных элементах, должны описываться равными закономерностями, хотя численно могут иметь существенные отличия. В результате возникает необходимость использования критериев, позволяющих «масштабировать» реальную систему с применением теории подобия [1, 2].

Постановка задачи

В данном случае важное значение приобретает теория физического моделирования динамических процессов [3–5]. Необходимо, чтобы параметры модели были геометрически подобны натурному орудью лова, применяемому в промышленном рыболовстве. Однако модель обычно имеет иные размеры, чем натуральный объект, и испытывается в другой среде и при других скоростях. Если испытания проходят в воздухе, а не в воде, где непосредственно используется орудие лова, то силовое взаимодействие со средой будет иным, нежели у натурального объекта. В связи с этим необходимо охарактеризовать силовое взаимодействие объекта и среды безразмерными величинами, которые не имели бы зависимости от натуральных размеров объекта, скорости его движения или скорости потока жидкости, плотности среды, вязкости жидкости и других размерных величин.

Определение одного из основных ФМС НИ, а именно разрывной нагрузки, при помощи современных разрывных машин, с применением программного обеспечения, становится эффективным инструментом в решении проблем не только деформации и разрушения, но и прогноза надежности и ресурса данного материала, работающего в сложных условиях динамических и ударных нагрузок.

На примере разноглубинного трала визуально покажем, насколько много НИ в каждом элементе орудия рыболовства (канатной, канатно-сетной и сетной части), которые в совокупности имеют влияние на крепость всего орудия рыболовства (рис. 1).

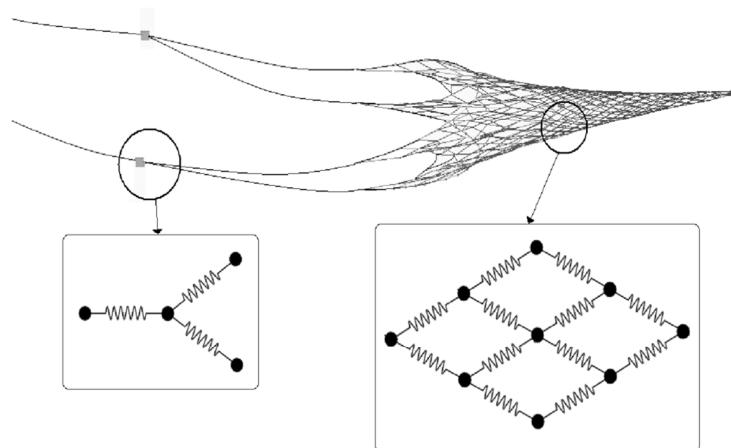


Рис. 1. Разноглубинный трал и его элементы

Разрыв в одном из элементов отразится на поведенческих характеристиках трала, что в результате может привести как к потере возможной добычи, так и к потере всего орудия.

Проведенные ранее исследования НИ на определение ФМС были посвящены изучению статических процессов [6], однако данные исследования не позволяют полностью охарактеризовать такие процессы, как деформация, разрушение и прогноз надежности.

Теория динамического подобия А. А. Недоступа [3, 4] позволяет обосновать правила подобия ФМС рыболовных крученых НИ при динамической постановке задачи, с рассмотрением изменения безразмерной силы (нагрузки) χ в НИ (рис. 2).

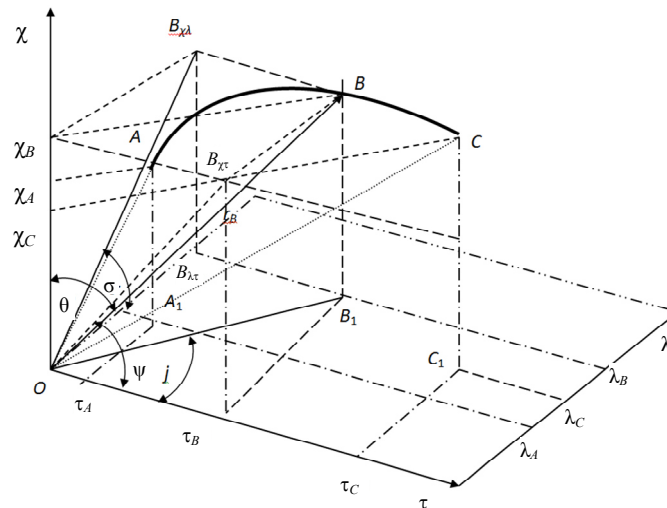


Рис. 2. Зависимость вида $\chi = f(\lambda, \tau)$: λ – геометрические характеристики; χ – силовые характеристики; τ – время динамического процесса; ABC – кривая процесса изменения безразмерных силовых и геометрических характеристик во времени

Прежде всего, необходимо определить связь между безразмерными геометрическими характеристиками λ , силовыми χ и временем τ динамического процесса как природы, так и модели [3, 4].

Материалы исследования

С целью постановки динамической задачи исследования ФМС НИ необходимо ввести ряд безразмерных параметров:

$$\chi = T / T_p,$$

где χ – безразмерная сила; T – натяжение НИ; T_p – разрывная нагрузка НИ,

$$\tau = t / t_p,$$

где τ – безразмерное время динамического процесса; t – время натяжения; t_p – время разрыва.

На рис. 1 показана зависимость вида $\chi = f(\lambda, \tau)$ для различных по структуре и плотности НИ. Данная зависимость для натуральных изделий должна быть аналогичной их модели [3], т. е.

$$\chi_n = \chi_m.$$

В табл. 1 приведены основные масштабы физических характеристик, протекающих с НИ; в то же время определены масштабы динамического подобия механических процессов рыболовства.

Таблица 1

Масштабы физических характеристик, протекающих с НИ

Физическая характеристика	Обозначение	Преобразование через масштаб C_l
Геометрический параметр (длина, диаметр и др.)	C_l	C_l
Время	C_t	$C_l^{5/4}$
Скорость	C_v	$C_l^{-1/4}$
Сила	C_R	$C_l^{3/2}$
Объемный вес	C_γ	$C_l^{-3/2}$
Упругость материала	C_E	$C_l^{-1/2}$
Изгибная жесткость	C_{EI}	$C_l^{7/2}$
Плотность	C_ρ	1
Относительное удлинение	C_ϵ	1

Рассмотрим физическое подобие такого параметра, как разрывная нагрузка, на основании проведенных экспериментов с кручеными капроновыми (полиамидными – ПА) нитками и веревками, которые применяются для постройки орудий промышленного рыболовства (табл. 2).

Таблица 2

Экспериментальные данные НИ ПА 187 Текс × 3

Диаметр, d , мм	Разрывная нагрузка, T , Н
1,1	438,3
2,0	1 377,6
3,1	2 618,1

Следует иметь в виду, что насколько бы критерии подобия ни были полны, обеспечить полное подобие все равно невозможно, точно так же, как и изучение любых явлений или процессов во всей их полноте.

На рис. 3 показана зависимость разрывной нагрузки крученых полиамидных образцов T от скорости натяжения t и диаметра испытываемых образцов d (см. табл. 2).

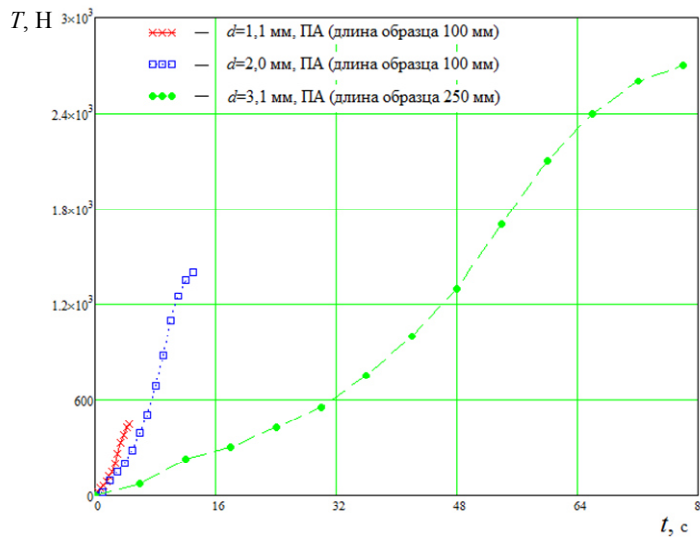


Рис. 3. Зависимости вида $T = f(t, d)$

Произведем несложные расчеты преобразования через масштабы подобия (см. табл. 1) для определения характеристик рыболовных капроновых канатов. Отметим (см. табл. 2), что разрывная нагрузка не зависит от скорости натяжения веревки, что означает использование масштаба времени C_t и масштаба сил C_R . В таком случае главными параметрами веревки и каната являются их диаметры d .

Масштаб диаметров $C_d = C_l$ – линейный масштаб:

$$C_l = d_m/d_n,$$

где d_m – модельный диаметр образца (веревки); d_n – натурный диаметр образца (каната).

Из табл. 3 возьмем все диаметры d_n для ПА канатов большого диаметра [7] и подсчитаем d_m для ПА веревок.

Таблица 3

Канат ПА тросовой свивки (3 пряди)

Диаметр каната, d_n , мм	Разрывная нагрузка, T , Н
8	11 564
10	14 210
11	19 698

В табл. 4 приведены расчетные значения C_l , C_b , C_R , T_n и сопоставлены значения из табл. 3 (разрывная нагрузка).

Таблица 4

Расчетные значения

$d_n \backslash d_m$	C_l			C_t			C_R			T_n		
	1,1	2,0	3,1	1,1	2,0	3,1	1,1	2,0	3,1	1,1	2,0	3,1
8	0,13	0,25	0,387	0,078	0,176	0,305	0,046	0,125	0,240	9 528,2	11 020,8	10 908,7
10	0,11	0,2	0,31	0,063	0,133	0,23	0,036	0,089	0,172	12 175	15 478,6	15 221,5
11	0,1	0,18	0,281	0,056	0,111	0,204	0,031	0,076	0,148	14 138,7	18 126,3	17 689,8

На рис. 4–6 представлены результаты пересчета (моделирования) на натуральный капроновый канат $d = 8$ мм, $d = 10$ мм и $d = 11$ мм для трех масштабов C_l , C_b , C_R .

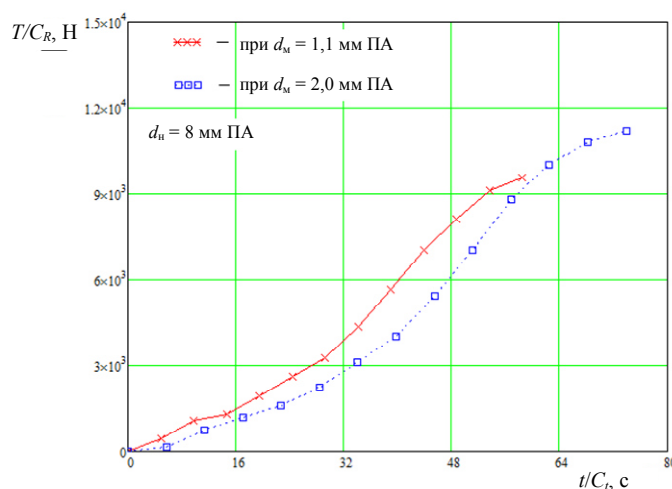


Рис. 4. Зависимости вида $T = f(t, d_n)$, $d_n = 8$ мм

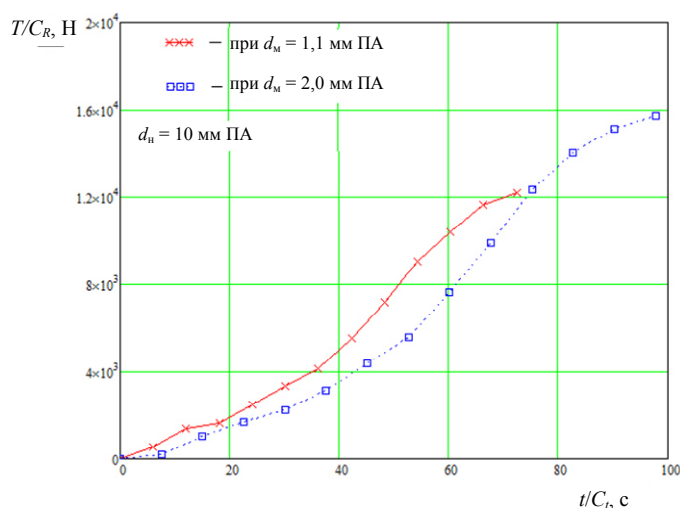


Рис. 5. Зависимости вида $T = f(t, d_n)$, $d_n = 10$ мм

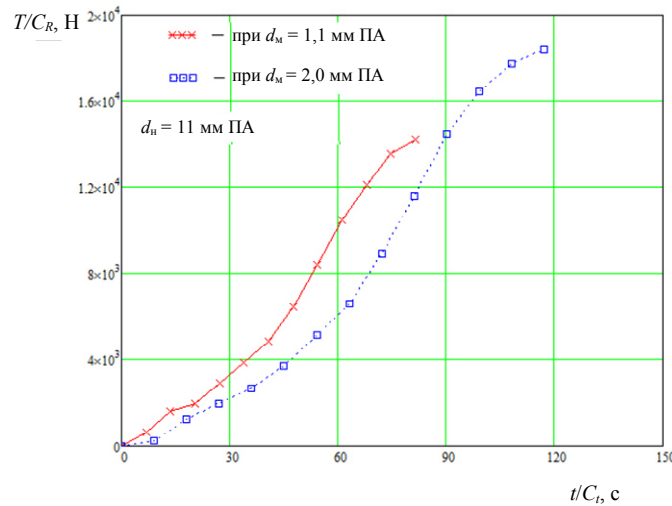


Рис. 6. Зависимости вида $T = f(t, d_n)$, $d_n = 11$ мм

Из графиков (рис. 4–6) видно, что моделирование по формулам масштабов времени и сил адекватно воспроизводит разрывную нагрузку в канате.

В табл. 5 приведены значения максимальной ошибки расчетов натурной разрывной нагрузки веревок и натурной разрывной нагрузки канатов, %:

$$\delta = \frac{T_H - [T_H]}{[T_H]} \cdot 100,$$

где $[T_H]$ – натурная разрывная нагрузка канатов большого диаметра.

Таблица 5

Максимальная ошибка расчетных данных натуральных разрывных нагрузок веревок и канатов

d_n	d_m	$\delta, \%$		
		1,1	2,0	3,1
8		17,6	4,7	5,6
10		16,7	8,9	7,11
11		28,2	7,9	10,2

Моделирование разрывной нагрузки НИ с использованием формулы масштабов времени и сил позволит значительно снизить процесс исследования ФМС.

Заключение

Описан метод определения масштабов подобию рыболовных нитевидных изделий на примере испытаний крученых нитевидных изделий, изготовленных из полиамидных волокон. Предложенный метод позволяет без проведения экспериментов на канатах большого диаметра определять их основные физико-механические свойства, которые необходимы для моделирования новых элементов орудий промышленного рыболовства.

Данный метод можно применять при расчете физико-механических свойств, в конечном итоге влияющих на уловистость орудия рыболовства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Ф. И. Моделирование рыболовных орудий // Рыбное хозяйство. 1940. № 5. С. 32–33.
2. Фридман А. Л. Методические указания по физическому моделированию канатных тралов (промежуточный отчет) // Отчет по теме «Анализ элементов конструкций канатных тралов» № 81-1.2. Калининград, 1981. 20 с.

3. Недоступ А. А. Физическое моделирование гидродинамических процессов движения орудий рыболовства // Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2012. № 3 (19). С. 55–67.
4. Недоступ А. А. Физическое моделирование орудий и процессов рыболовства: моногр. Калининград: Изд-во КГТУ, 2012. 375 с.
5. Недоступ А. А. Экспериментальная гидромеханика орудий рыболовства: учеб. М.: Моркнига, 2014. 363 с.
6. Насенков П. В. Экспериментальное исследование физико-механических свойств нитевидно-веревочных изделий // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: материалы V Междунар. науч.-техн. конф. (Владивосток, 22–24 мая 2018 г.). Владивосток: Изд-во ДГТРУ, 2018. Ч. 1. С. 144–147.
7. Фабрика шнуров «ААА ТЕКС». URL: http://shnury.ru/catalog/kronnie_ropes_rope_lay (дата обращения: 11.10.2019).

Статья поступила в редакцию 13.01.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Недоступ Александр Алексеевич – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; зав. кафедрой промышленного рыболовства; nedostup@klgtu.ru.

Насенков Павел Владимирович – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры промышленного рыболовства; pavel.nasenkov@klgtu.ru.

Разжев Алексей Олегович – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; соискатель кафедры промышленного рыболовства, младший научный сотрудник; progacpp@live.ru.

Коновалова Карина Витальевна – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; магистрант кафедры промышленного рыболовства; kova.rina4382@mail.ru.

Фёдоров Сергей Васильевич – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; д-р техн. наук, профессор; зав. кафедрой теории механизмов и машин и деталей машин; fedorov@klgtu.ru.



SUBSTANTIATION OF RULES OF SIMILARITY OF BREAKING LOAD OF TWISTED FISHING GEAR

A. A. Nedostup, P. V. Nasenkov, A. O. Razhev, K. V. Konvalova, S. V. Fedorov

*Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russian Federation*

Abstract. The article focuses on the problem of physical modeling of the physical and mechanical properties of fishing twisted filamentary materials, in particular, the most important one – the breaking load. The problems arise because of conducting full-scale experiments, particularly when the ropes of large diameter are used to build the rope parts of fishing gear. The solution to the problem of determining the breaking load on filamentary parts can be found by using specialized tensile testing machines and modern software, which is an effective tool for predicting the reliability and a resource of a gear part operating in difficult conditions of dynamic and shock loads. However, designing of fishing gear must begin with large-scale modeling, which will help to correctly calculate the physical and mechanical properties of the designed object using the well-known parameters of the full-scale material. The similarity rules of breaking load of fishing twisted filamentary gear used for the construction of industrial fishing tools will make it possible to model new elements of these tools without conducting full-scale experiments. At the same time, they will already

contain solutions to problems associated with studying the dynamic processes, deformation, fracture, as well as the prediction of reliability and resource of the material. The technique proposed based on determining the scale of similarity of filamentary gear made of polyamide fibers, will help to simulate various net and rope elements from filaments gear of various sizes and structures, instead of conducting energy-intensive experimental studies on ropes of large diameter.

Key words: industrial fishery, fishing gear, breaking load, filament parts, physical and mechanical properties, modeling, rope, scale.

For citation: Nedostup A. A., Nasenkov P. V., Razhev A. O., Konovalova K. V., Fedorov S. V. Substantiation of rules of similarity of breaking load of twisted fishing gear. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2020;1:38-45. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2020-1-38-45.

REFERENCES

1. Baranov F. I. Modelirovanie rybolovnykh orudii [Fishing gear modeling]. *Rybnoe khoziaistvo*, 1940, no. 5, pp. 32-33.
2. Fridman A. L. Metodicheskie ukazaniia po fizicheskomu modelirovaniu kanatnykh tralov (promezhutochnyi otchet) [Guidelines for physical modeling of cable trawls (interim report)]. *Otchet po teme «Analiz elementov konstruktсии kanatnykh tralov» № 81-1.2*. Kaliningrad, 1981. 20 p.
3. Nedostup A. A. Fizicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov dvizheniia orudii rybolovstva [Physical modeling of hydrodynamic processes of fishing gear motion]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika*, 2012, no. 3 (19), pp. 55-67.
4. Nedostup A. A. *Fizicheskoe modelirovanie orudii i protsessov rybolovstva: monografiia* [Physical modeling of fishing gear and fishing processes: monograph]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2012. 375 p.
5. Nedostup A. A. *Ekspertimental'naia gidromekhanika orudii rybolovstva: uchebnyk* [Experimental hydro-mechanics of fishing gear: textbook]. Moscow, Morkniga Publ., 2014. 363 p.
6. Nasenkov P. V. Ekspertimental'noe issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoistv nitevidno-verevochnykh izdelii [Experimental study of physical and mechanical properties of thread-rope products]. *Aktual'nye problemy osvoeniia biologicheskikh resursov Mirovogo okeana: materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnichekskoi konferentsii (Vladivostok, 22–24 maia 2018 g.)*. Vladivostok, Izd-vo DGTRU, 2018. Part 1. Pp. 144-147.
7. *Fabrika shnurov «AAA TEKS»* [Cord Factory “AAA TEX”]. Available at: http://shnury.ru/catalog/kronnie_ropes_rope_lay (accessed: 11.10.2019).

The article submitted to the editors 13.01.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nedostup Alexander Alekseevich – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Commercial Fishery; nedostup@klgtu.ru.

Nasenkov Pavel Vladimirovich – Russia, 236022; Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Commercial Fishery; pavel.nasenkov@klgtu.ru.

Razhev Alexey Olegovich – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Competitor of the Department of Commercial Fisheries, Junior Researcher; progacpp@live.ru.

Konovalova Karina Vitalievna – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Master's Course Student of the Department of Commercial Fishery; kova.rina4382@mail.ru.

Fedorov Sergey Vasilievich – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Mechanisms and Machines and Machine Parts; fedorov@klgtu.ru.

