

А. А. Недоступ, А. В. Дегутис

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФРИКЦИОННЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ МЕХАНИЗМОВ В ПРОМЫШЛЕННОМ РЫБОЛОВСТВЕ

Необходимость изучения фрикционного взаимодействия канатно-веревочных изделий (КВИ), из которых изготавливаются орудия рыболовства, и тягового барабана с заклинивающим профилем, а также с применением прижимного ролика определила актуальность исследований. Цель работы – исследование статического коэффициента трения μ для трибопар «КВИ – фрикционный барабан». Получены ранее неизвестные зависимости $\mu = f(S_{1\max}/S_2, W_\phi)$, $S_1/S_2 = f(\beta)$, $\mu = f(S_{1\max}/S_2, \beta)$, $S_1/S_2 = f(S_1, S_2, P, \alpha, \alpha_n)$, где S_1 и S_2 – усилия на набегающей и сбегающей ветвях гибкой нити; β – угол клина барабана; W_ϕ – фактическая влажность КВИ; α – угол обхвата КВИ на барабане; α_n – угол контакта прижимного ролика; P – вес прижимного ролика. Эксперименты проводились в 2012–2014 гг. В экспериментах использовались крученые канаты (крутка Z) из полиамида и полипропилена и клиновидные барабаны фрикционного типа: клиновидные и трапециевидные, стальные, алюминиевые и деревянные (осина) с углом клина $30^\circ \leq \beta \leq 40^\circ$. Зависимости для заклинивающего профиля $\mu = f(S_{1\max}/S_2, W_\phi)$ и $\mu = f(S_1/S_2, \beta)$ позволяют видеть, что статический коэффициент трения растёт с увеличением отношения S_1/S_2 и уменьшением абсолютной разницы $S_1 - S_2$, которая, в свою очередь, представляет собой тягу механизма фрикционного типа. Установлены зависимости коэффициента трения μ и отношения $S_1/S_2 = f(S_1, S_2, P, \alpha)$ от угла прижатия прижимного ролика. Выявлено, что коэффициент трения самое большое значение имеет при $\alpha = 150^\circ$.

Ключевые слова: фрикционный механизм, экспериментальные исследования, коэффициент трения.

Введение

Комплексная механизация процессов промышленного рыболовства включает в себя применение широкого спектра промысловых механизмов фрикционного типа (МФТ). Орудие рыболовства удерживается на поверхности тягового барабана фрикционного механизма при помощи силы трения и перемещается вместе с вращающимся барабаном без проскальзывания (буксования). В этом случае осуществляется их фрикционное взаимодействие в условиях предварительного смещения, которое является начальной фазой трения скольжения. Оно характеризуется неполной силой трения, превосходящей сдвигающую силу (окружную силу), создаваемую на поверхности тягового барабана приводом промыслового механизма [1, 2]. Необходимость изучения фрикционного взаимодействия канатно-веревочных изделий (КВИ), из которых изготавливаются орудия рыболовства, и тягового барабана с заклинивающим профилем, а также с применением прижимного ролика, для его последующего применения в промысловых механизмах при модернизации промысловых схем определила актуальность наших исследований. Цель работы заключалась в исследовании статического коэффициента трения μ для трибопар «КВИ – фрикционный барабан». Эксперименты проводились в 2012–2014 гг.

Отметим, что заклинивающий профиль и барабаны с прижимным роликом используются в таких промысловых механизмах, как:

- машина конструкции Старовойтова;
- поводцевыборочный механизм конструкции Научно-исследовательского и конструкторского института Министерства рыбной промышленности СССР (НИКИМРП);
- лебедки;
- сетевыборочный механизм при дрефтерном лове и ярусоподъемник.

Эксперименты с заклинивающим профилем

Для экспериментов с заклинивающим профилем основным условием было, чтобы непосредственно контакт КВИ происходил только с боковыми стенками шкива (рис. 1).

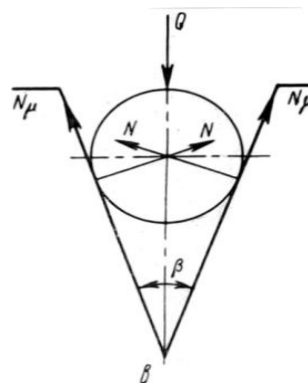
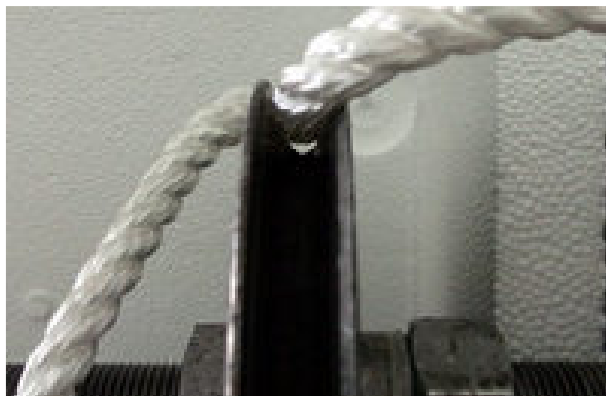


Рис. 1. Условие проведения экспериментов для барабана с заклинивающим профилем

В экспериментах использовались крученые канаты (крутка Z) из полиамида (ПА) и полипропилена со следующими характеристиками: линейная плотность – $45 \leq T \leq 146$ ктекс; диаметр каната – $8,0 \leq d \leq 18,0$ мм; длина каната – $2,0 \leq L \leq 4,08$ м (табл. 1). В ходе исследования использовались следующие барабаны фрикционного типа: клиновидные и трапециевидные, стальные, алюминиевые и деревянные (осина) с углом клина $30^\circ \leq \beta \leq 40^\circ$ (табл. 2).

Таблица 1

Характеристики сетематериалов

Материал	№	Вид	Линейная плотность, T , ктекс	Диаметр d , мм	Разрывная нагрузка, T_p , Н	Длина L , м	Направление крутки
Полиамид (капрон)	1	Канат кручёный	45	8	11 587	3,34	Z
	2	Канат кручёный	56	10	15 712	4,08	Z
	3	Канат кручёный	77	11	20 425	3	Z
	4	Канат крученый	95	18	54 010–66 776	1,9	Z
Полипропилен	5	Канат крученый	146	18	46 000–52 000	2	Z

Таблица 2

Характеристики барабанов

№ барабана	Профиль	Материал барабана	Угол клина барабана β , град
1	Клиновой	Сталь	36
2	Клиновой	Алюминий	32
3	Клиновой	Алюминий	38
4	Клиновой	Алюминий	37
5	Клиновой	Дерево, осина	30
6	Клиновой	Дерево, осина	40
7	Клиновой	Дерево, осина	50
8	Трапециевидный	Дерево, осина	30

Для детального изучения коэффициента трения была создана экспериментальная установка. Приводом установки является мотор-редуктор, состоящий из асинхронного электродвигателя мощностью $N_m = 0,12$ кВт с частотой оборотов $n = 1380$ об/мин и червячного редуктора с передаточным отношением $i = 53$ и частотой оборотов тихоходного вала $n_{т.в} = 26$ об/мин (рис. 2).



Рис. 2. Экспериментальная установка:
 1 – мотор-редуктор; 2 – съёмный барабан; 3 – тензостанция МТС-200;
 4 – тензодатчик; 5 – разновесы; 6 – преобразователь частоты

Натяжение набегающей ветви КВИ S_1 измеряется тензометрическим датчиком, имеющим диапазон измерений от 0 до 491,0 Н. Угловая скорость барабана ω может плавно регулироваться в диапазоне $0 \leq \omega \leq 0,43 \text{ с}^{-1}$ за счёт управления электродвигателем при помощи преобразователя частоты ACS350-01E-02A4-2, 0,37 кВт, 220 В с базовой панелью ACS-CP-C J404 (рис. 3).



Рис. 3. Преобразователь ACS350-01E-02A4-2 и тензодатчик

Методика проведения эксперимента по исследованию статического коэффициента трения. Образцы КВИ исследовались на четырёх шкивах $D_0 = 96; 99; 114; 269 \text{ мм}$. Угол обхвата барабана МФТ составлял 180° . Угловая скорость барабана составляла $\omega = 0,43 \text{ с}^{-1}$.

Условия проведения опытов: шкив МФТ абсолютно жесткий; поверхность шкива МФТ – обработанный алюминий, сталь, дерево; пренебрегаем деформациями капроновых КВИ, вызванными их весом; форма сечения КВИ в пределах дуги контакта со шкивом МФТ не изменяется (рис. 4).

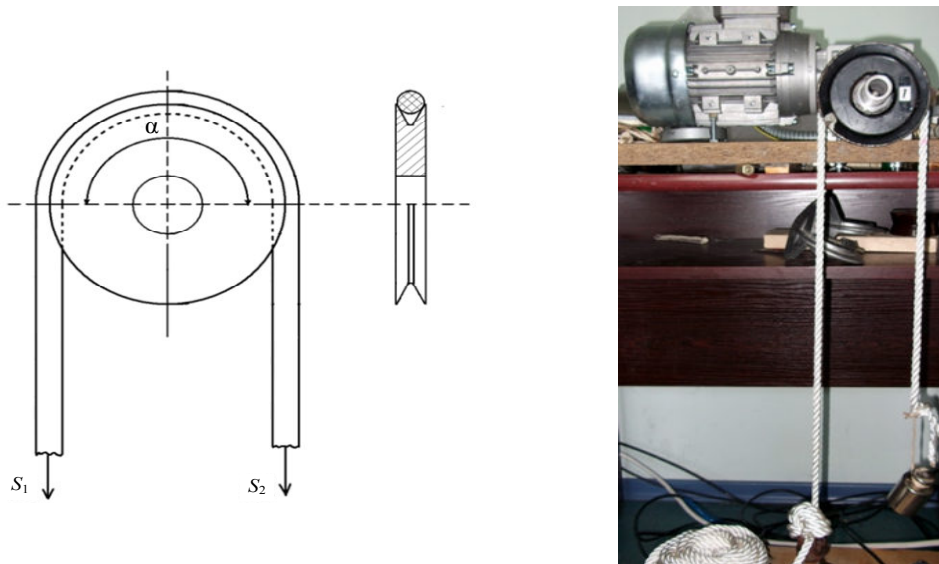
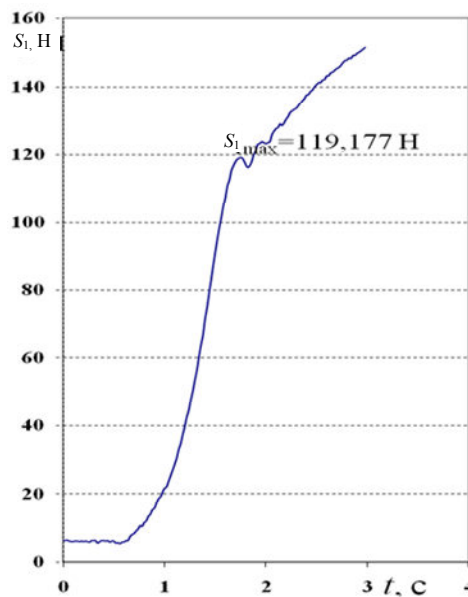


Рис. 4. Методика проведения эксперимента

Экспериментальные работы проводились с образцами канатных изделий в состоянии нормальной влажности $W_{\phi} = 4\%$. Устанавливались поочередно шкивы. Испытуемый образец укладывался на барабан так, чтобы длина сбегающей ветви равнялась 0,5 м, а угол обхвата составлял $\alpha = 180^\circ$. Набегающая ветвь крепилась к тензодатчику, подключённому к тензостанции. Сбегающая ветвь нагружалась мерным грузом для создания натяжения S_2 . Шкив приводился во вращение с частотой оборотов 6,3 об/мин. При этом в пределах дуги контакта возникала сила трения между барабаном и исследуемым образцом КВИ. По результатам экспериментов с КВИ строились зависимости вида $S_1 = f(t)$ (рис. 5). С графика снималось значение $S_{1\max}$. Это предельное значение S_1 , при котором барабан МФТ и КВИ работают без проскальзывания. По полученным данным производился расчет статического коэффициента трения, после чего эксперимент повторялся. Сетематериалы № 1–3 испытывались на барабанах № 1–4, сетематериалы № 4–5 – на барабанах № 5–8.

Рис. 5. Зависимость $S_1 = f(t)$ в эксперименте с сухим канатом $d = 10$ мм при $S_2 = 24,726$ Н

По окончании экспериментов составляли сводную таблицу, в которой указывали все полученные значения. Для образца материала № 1 эти значения приведены табл. 3 и 4.

Сводная таблица для образца материала № 1

Образец КВИ		Барабан			m, г	S ₂ , Н	S ₁ , Н	S ₁ /S ₂
№	d _ш , мм	№ барабана	α, град	D ₀ , мм				
1	8	1	36	96	500	4,91	25,721	5,238
					1 000	9,82	48,320	4,921
					1 500	14,73	67,647	4,592
					2 004	19,679	82,723	4,204
					2 518	24,726	105,023	4,247
		2	32	99	500	4,91	48,780	9,935
					1 000	9,82	79,924	8,139
					1 500	14,73	108,891	7,392
					2 004	19,679	112,083	5,696
					2 518	24,726	129,961	5,256
		3	38	128	500	4,91	39,379	8,020
					1 000	9,82	65,589	6,679
					1 500	14,73	85,741	5,821
					2 004	19,679	100,661	5,115
		4	37	269	200	1,964	22,334	11,372
					300	2,946	29,742	10,096
400	3,928				40,847	10,399		

Таблица 4

Сводная таблица коэффициента трения для образца материала № 1

Образец КВИ		Шкив			m, г	μ
№	d _ш , мм	№	α, град	D ₀ , мм		
1	8	1	36	96	500	0,68
					1 000	0,662
					1 500	0,636
					2 004	0,602
					2 518	0,607
		2	31	99	500	0,989
					1 000	0,894
					1 500	0,849
					2 004	0,729
					2 518	0,695
		3	38	128	500	0,876
					1 000	0,797
					1 500	0,737
					2 004	0,682
		4	37	269	200	1,032
					300	1,009
400	0,984					

Далее производился расчет статического коэффициента трения по формуле [3]:

$$\mu = 0,6 \sqrt{\frac{S_{1\max}/S_2 - 1}{\alpha}}, \quad (1)$$

где S₁ и S₂ – усилия на набегающей и сбегаящей ветвях гибкой нити, Н; μ – коэффициент трения; α – угол обхвата нитью барабана, рад.

Эксперименты с применением прижимного ролика

В ходе экспериментов исследовалось влияние прижимного ролика на тягу фрикционных механизмов. Статический коэффициент трения трибопар, образованных КВИ на поверхности стального барабана, рассчитывался при условии, что КВИ прижаты к барабану прижимным роликом. Задачей являлось исследование зависимости силы натяжения набегающей ветви от угла прижима и силы прижатия для трибопар КВИ – стальной барабан.

Методика проведения экспериментов. Методика, описывающая сам процесс проведения экспериментов, полностью совпадает с методикой проведения эксперимента по исследованию статического коэффициента трения.

Образцы КВИ исследовались на трех сменных втулках барабана цилиндрического профиля диаметром $D_0 = 104; 129$ и 152 мм (табл. 5).

Таблица 5

Характеристики экспериментальных образцов КВИ для экспериментов с прижимным роликом

Материал	Вид	Линейная плотность, ктекс	Диаметр d , мм	Разрывная нагрузка T_p , Н	Длина L , м	Масса m , г	Крутка
Полиамид (капрон) ПА	Нитка кручёная	420 ктекс	2,2	972,2	3,52	6,7	Z
	Верёвка кручёная	9,3 ктекс	4,0	3 387,9	3,24	26,1	S

Угол обхвата барабана составлял 180° . Для различных углов каждого барабана исследуемого образца КВИ использовалось 3 веса: $S_2 = 1,964; 3,928$ и $5,892$ Н. Для каждого S_2 на трех точках прижима использовалось три веса прижатия $P = 1,964; 2,946$ и $3,928$ Н. Эксперименты проводились на трех различных углах прижатия: $\alpha_1 = 120^\circ, \alpha_2 = 135^\circ, \alpha_3 = 150^\circ$. Точками прижатия являлись точки A_1, A_2, A_3 соответственно (рис. 6, 7).

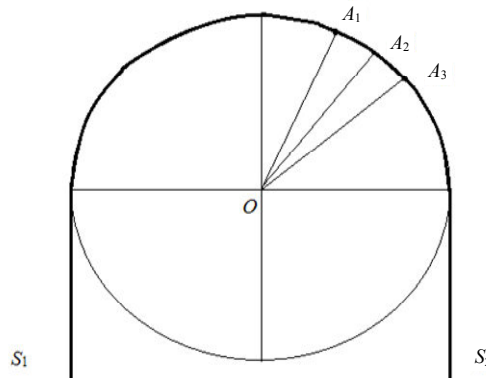


Рис. 6. Точки прижатия ролика на барабане

Рис. 7. Экспериментальная установка с углом прижатия $\alpha = 120^\circ$

После серии из 5-ти экспериментов изменялись массы загрузки на сбегавшей ветви и массы прижима и эксперимент повторялся. Обработка данных из предыдущих таблиц представляла собой составление сводной таблицы входных данных с рассчитанным отношением S_1/S_2 . В качестве примера приведена табл. 6 для образца материала № 1 на барабане $D_0 = 104$ мм на трех углах прижима с тремя различными S_2 .

Сводная таблица данных для образца материала № 1 на барабане $D_0 = 104$ мм

Образец барабана	d_n , мм	D_0 , мм	α_n , град	m , г	S_2 , Н	m_n , г	P_n , Н	S_{1max} , Н	S_{1max}/S_2	μ	
1	2,2	104	120	200	1,964	200	1,964	3,561	1,813	0,3	
						300	2,946	3,725	1,897	0,321	
						400	3,928	3,909	1,990	0,337	
				400	3,928	200	1,964	6,420	1,634	0,27	
						300	2,946	6,467	1,646	0,272	
						400	3,928	6,682	1,701	0,283	
				600	5,892	200	1,964	9,877	1,676	0,278	
						300	2,946	10,004	1,698	0,283	
						400	3,928	10,315	1,751	0,293	
				135	200	1,964	200	1,964	3,532	1,798	0,302
							300	2,946	3,871	1,971	0,334
							400	3,928	4,179	2,128	0,36
			400		3,928	200	1,964	7,184	1,829	0,308	
						300	2,946	7,201	1,833	0,309	
						400	3,928	7,611	1,938	0,328	
			600		5,892	200	1,964	10,395	1,764	0,296	
						300	2,946	10,581	1,796	0,302	
						400	3,928	10,684	1,813	0,305	
			150		200	1,964	200	1,964	3,506	1,785	0,3
							300	2,946	4,257	2,168	0,366
							400	3,928	4,761	2,424	0,404
				400	3,928	200	1,964	8,163	2,078	0,351	
						300	2,946	8,240	2,098	0,355	
						400	3,928	8,571	2,182	0,368	
600	5,892	200		1,964	11,494	1,951	0,33				
		300		2,946	11,623	1,973	0,334				
		400		3,928	11,815	2,005	0,339				

Расчет коэффициента трения производился также по формуле (1).

Таким образом, для заклинивающего профиля нами получены зависимости $\mu = f(S_{1max}/S_2, W_\phi)$, $\mu = f(S_1/S_2, \beta)$, позволяющие видеть, что статический коэффициент трения μ растёт с увеличением отношения S_1/S_2 и уменьшением абсолютной разницы $S_1 - S_2$, которая, в свою очередь, представляет собой тягу МТФ (рис. 8).

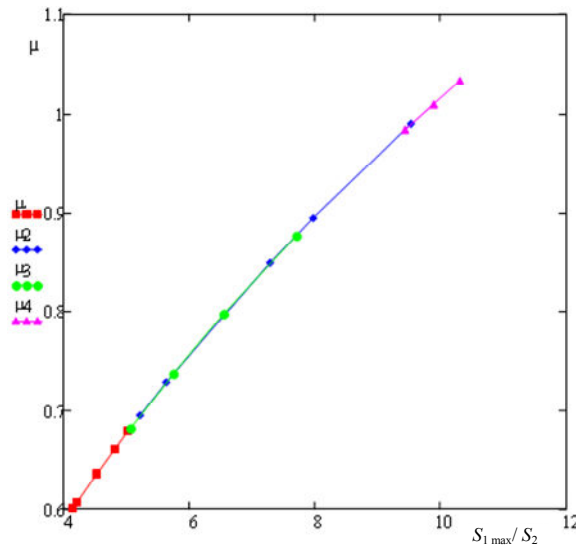


Рис. 8. График зависимости $\mu = f(S_{1max}/S_2)$ для сухого каната ПА $d = 8$ мм ($W_\phi = 4\%$), находящегося в заклинивающем профиле ($\beta = 31^\circ, 37^\circ, 38^\circ$) алюминиевого барабана и ($\beta = 36^\circ$) стального барабана: $\mu - \beta = 36^\circ$, $\mu_2 - \beta = 31^\circ$, $\mu_3 - \beta = 38^\circ$, $\mu_4 - \beta = 37^\circ$

При определении зависимости коэффициента трения μ и отношения $S_1/S_2 = f(S_1, S_2, P, \alpha)$ от угла прижатия прижимного ролика установлено, что самое большое значение коэффициент трения имеет при $\alpha = 150^\circ$ (рис. 9).

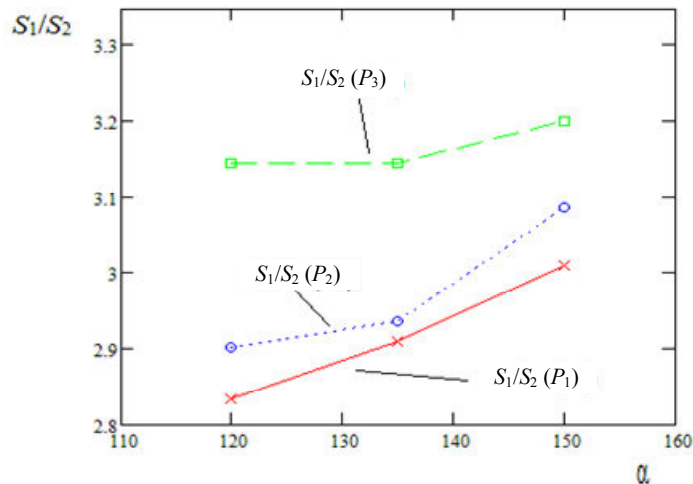


Рис. 9. График зависимости S_1/S_2 от угла α при $P = 1,964; 2,946$ и $3,928$ Н:
 $S_2 = 1,964$ Н = const. Барабан $D = 129$ мм, образец материала № 1

Поскольку современная наука о трении исходит из того, что коэффициент трения [4] зависит от многих факторов – природы контактирующих тел, их шероховатости, давления, скорости взаимного перемещения, размера поверхности, продолжительности контакта и др., необходимо продолжить исследования в данной области.

Выводы

Таким образом, нами получены ранее неизвестные зависимости:

– зависимости $\mu = f(S_{1\max}/S_2, W_\phi)$, $\mu = f(S_1/S_2, \beta)$ для заклинивающего профиля, позволяющие видеть, что статический коэффициент трения μ растёт с увеличением отношения S_1/S_2 и уменьшением абсолютной разницы $S_1 - S_2$, которая, в свою очередь, представляет собой тягу МТФ;

– зависимости коэффициента трения μ и отношения $S_1/S_2 = f(S_1, S_2, P, \alpha)$ от угла прижатия прижимного ролика; выявлено, что самое большое значение коэффициент трения имеет при $\alpha = 150^\circ$.

Результаты исследований будут способствовать усовершенствованию промышленных механизмов, в которых используются заклинивающий профиль и барабаны с прижимным роликом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чичинадзе А. В. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учеб. для техн. вузов / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, Н. А. Буше, И. А. Буяновский; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
2. Недоступ А. А. Исследование статического коэффициента трения рыболовных канатно-веревочных изделий на барабане механизма фрикционного типа / А. А. Недоступ, Е. К. Орлов // Трение и износ. 2010. Т. 31, № 4. С. 403–411.
3. Орлов Е. К. Результаты экспериментального исследования нормальной нагрузки при фрикционном взаимодействии орудия рыболовства с тяговым барабаном промышленного механизма / Е. К. Орлов, А. А. Недоступ // Рыбное хозяйство. 2012. № 5. С. 97–101.
4. Крагельский И. В. Основы расчётов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. М.: Машиностроение, 1977. С. 444–445.

Статья поступила в редакцию 30.09.2014

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Дегутис Андриус Витаутович – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры «Промышленное рыболовство»; Andrey_degutis@mail.ru.



A. A. Nedostup, A. V. Degutis

EXPERIMENTAL STUDIES OF PARAMETERS OF FRICTION FISHING MECHANISMS IN COMMERCIAL FISHERY

Abstract. The need to study the frictional interaction of cordage, of which fishing gear is manufactured, and the traction drum with wedging profile, as well as with the use of the pressure roller determined the relevance of the study. The purpose of the work is to study the static friction coefficient μ for «cordage – friction drum». The previously unknown dependencies $\mu = f(S_{1\max}/S_2, W_\phi)$, $S_1/S_2 = f(\beta)$, $\mu = f(S_{1\max}/S_2, \beta)$, $S_1/S_2 = f(S_1, S_2, P, \alpha, \alpha_n)$ where S_1 и S_2 – the efforts of tight and slack strands of flexible rope; β – the wedge angle of the drum; W_ϕ – actual humidity of cordage, α – angle of cordage wrap on the drum; α_n – contact angle of the pressure roller; P – the weight of the pressure roller, are established. The experiments were carried out in 2012–2014. In the experiments, the twisted ropes (twist Z) from polyamide and polypropylene and wedge-like drums of friction type: wedge and trapezoidal, steel, aluminum and wood (aspen) with the wedge angle $30^\circ \leq \beta \leq 40^\circ$ were used. The dependencies for the wedge profile $\mu = f(S_{1\max}/S_2, W_\phi)$ and $\mu = f(S_1/S_2, \beta)$ show that the static friction coefficient μ increases with the ratio S_1/S_2 and decreases with the absolute difference $S_1 - S_2$, which in its turn is a thrust of the of the frictional mechanism. The dependences of the friction coefficient μ and the ratio $S_1/S_2 = f(S_1, S_2, P, \alpha)$ from the angle of pressing of the pressure roller are fixed. It was revealed that the coefficient of friction is the highest at the angle $\alpha = 150^\circ$.

Key words: frictional mechanism, experimental research, coefficient of friction.

REFERENCES

1. Chichinadze A. V., Braun E. D., Bushe N. A., Buianovskii I. A. *Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka)* [The fundamentals of tribology (friction, wear, lubrication)]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001. 664 p.
2. Nedostup A. A., Orlov E. K. Issledovanie staticheskogo koeffitsienta trenia rybolovnykh kanatno-verevochnykh izdelii na barabane mekhanizma friktsionnogo tipa [Study of the static coefficient of friction of fishing cordage on the drum of frictional mechanism]. *Trenie i iznos*, 2010, vol. 31, no. 4, pp. 403–411.
3. Orlov E. K., Nedostup A. A. Rezul'taty eksperimental'nogo issledovaniia normal'noi nagruzki pri friktsionnom vzaimodeistvii orudiia rybolovstva s tiagovym barabanom promyslovogo mekhanizma [The results of experimental study of standard load at frictional interaction of fishing gear with hauling drum of commercial mechanism]. *Rybnoe khoziaistvo*, 2012, no. 5, pp. 97–101.
4. Kragel'skii I. V., Dobyichin M. N., Kombalov V. S. *Osnovy raschetov na trenie i iznos* [The bases of calculations on friction and wear]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977. P. 444–445.

The article submitted to the editors 30.09.2014

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Degutis Andrius Vitautovich – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Commercial Fishery"; Andrey_degutis@mail.ru.

