

МЕТОДЫ МОДЕРНИЗАЦИИ РЫБОЛОВНОГО ТРАЛА В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ТЯГИ СУДНА В ТЕЧЕНИЕ ПРОМЫСЛОВОГО РЕЙСА

Т. В. Рязанова

*Керченский государственный морской технологический университет,
Керчь, Российская Федерация*

Рассматриваются проблемы совместимости гидродинамического сопротивления трала и фактической тяги траулера, потерявшего способность обеспечивать необходимую силу тяги вследствие увеличения сопротивления корпуса судна и износа машинно-двигательного комплекса. Предлагается осуществить уменьшение площади сопротивления траловой системы путем уменьшения линейных размеров пластей мотенной части трала, а также путем замены некоторых пластей мотенной части трала с меньшим шагом ячеи на пласти с более крупным шагом ячеи. Отмечено, что во время промысла капитаны судов зачастую принимают интуитивное решение замены тралов тралами менее мощных судов. Рассматриваются способы уменьшения площади сопротивления трала, снижения гидродинамического сопротивления траловой рыболовной системы. Приведены числовые примеры рассматриваемой методики. Проиллюстрированы пластина мотни трала Р-К-120/1120, натурные и модернизированные пласти мотенной части трала. Приведены результаты модернизации пласти мотенной части трала, представлена формула расчета фиктивной площади пласти трала. Проанализирован способ модернизации трала вследствие увеличения размера ячеей в некоторых деталях мотни трала, рассчитывается средневзвешенный шаг ячеей в натурном трале. Разрабатываемая методика должна позволить решить проблему модернизации трала оперативно, в условиях промысловой палубы силами судового экипажа. Предлагаемые способы модернизации рыболовного трала позволят избежать крупных затрат на ремонт главного двигателя рыболовного судна, эксплуатирующего трал, не соответствующий техническому состоянию траулера, или сократить недоходы при промысле тралом меньшего размера.

Ключевые слова: трал, фактическая тяга, траулер, сопротивление трала, фиктивная площадь, увеличение шага ячеи.

Для цитирования: *Рязанова Т. В.* Методы модернизации рыболовного трала в условиях дефицита тяги судна в течение промыслового рейса // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 3. С. 52–59. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-3-52-59.

Введение

Снижения тяговых характеристик промысловых траулеров происходит в течение всего срока эксплуатации, во время рейса тяга судна снижается за счет износа пропульсивного комплекса. Износ определяется такими факторами, как обрастание корпуса судна и его винта, снижение мощности главного двигателя за счет износа цилиндропоршневой группы и топливной аппаратуры. Вышеперечисленное приводит к снижению тягово-скоростных характеристик траулера, в том числе и необходимой скорости буксировки тралов, которыми оснащено судно. В подобной ситуации капитаны промысловых судов принимают разные решения: не предпринимают ничего и не выполняют рейсовое задание; эксплуатируют машину на предельных нагрузках, что способствует ускоренному износу главного двигателя или его авариям. Любое из принятых вышеперечисленных решений приводит к экономическому ущербу промыслового рейса.

В настоящем исследовании предлагается путь модернизации трала, который исключает повышенные темпы износа главного двигателя и аварии при незначительном уменьшении уловов каждого траления, но в итоге модернизация трала приводит к общему повышению вылова рыбы. Модернизацию трала можно проводить по многим направлениям, в данном случае рассматриваются изменения деталей мотенной части трала, такие как уменьшение линейных размеров пластей и замена некоторых участков мотенной части с меньшей ячеей на детали, изготовленные из дели с большей ячеей. Подобные изменения приведут к уменьшению гидродина-

мического сопротивления рыболовного трала. Рассматриваемые расчетные методы модернизации мотенной части трала доступны для практического применения судовыми специалистами. Все предлагаемые методы проиллюстрированы числовыми примерами, благодаря которым становится очевидно, что применение методики не составляет сложности, а технология модернизации вполне осуществима в условиях промысловой палубы судна.

Материалы исследования

В работе [1] теоретически и практически было доказано, что тяга судна зависит от многих факторов, среди которых и фактор времени эксплуатации. За шестимесячный рейс в тропических широтах траулер может потерять до 50 % тяги от начального значения. Не учитывать этого явления нельзя. На промысле наиболее опытные капитаны в подобных условиях заменяли имеющиеся тралы тралами меньших размеров от других, менее мощных судов. Способ компенсации снижения тяги тралами меньшего гидродинамического сопротивления давал довольно хороший эффект, но необходимо отметить, что капитаны производили замену без каких-либо расчетов, руководствуясь лишь интуицией.

В источнике [2] изложена теория проектирования тралов методом подобия. Доказано, что наиболее приемлемым является метод силового подобия, по которому уравнение связи масштабов подобия имеет вид:

$$\frac{C_R C_a}{C_K C_\rho C_d C_V^2 C_L^2} = 1, \quad (1)$$

где C_R – силовой масштаб; C_a – масштаб шагов ячей; C_K – масштаб коэффициентов сопротивления; C_ρ – масштаб плотностей среды; C_d – масштаб диаметров ниток, веревок, канатов; C_V – скоростной масштаб; C_L – линейный масштаб.

В случае если в начале рейса судно имело тягу $Pp_{\phi 1}$, а спустя какое-то время тягу $Pp_{\phi 2}$, появляется силовой масштаб $C_R = \frac{Pp_{\phi 2}}{Pp_{\phi 1}}$. Ставится задача модернизации имеющегося на борту

трала таким образом, чтобы его сопротивление соответствовало новому значению тяги при сохранении скорости траления и удержании нагрузки на главной энергетической установке в пределах, обусловленных судовладельцем и правилами технической эксплуатации главных двигателей.

При неизменяемых условиях эксплуатации рыболовной траловой системы не меняется среда эксплуатации – морская вода ($C_\rho = 1$), при прежней скорости траления ($C_V = 1$) – прежние параметры делей мотенной части – диаметры рыболовных материалов и шаги ячей ($C_a = C_d = 1$), в этих условиях и $C_K = 1$, т. к. гидродинамические коэффициенты сопротивления зависят от чисел Рейнольдса, а они не изменяются, поскольку не меняются диаметры, скорость и среда траления, масштабы подобия будут равны:

$$C_a = C_K = C_\rho = C_d = C_V = 1.$$

Тогда из уравнения связи масштабов подобия (1) останется:

$$C_L = \sqrt{C_R}. \quad (2)$$

То есть уменьшение тяги судна приводит к уменьшению размеров трала по закону степенной функции.

Поскольку на промысловой палубе судна очень сложно модернизировать канатную часть трала из-за недостатка места, предлагается оставить канатную часть без изменений, а модернизировать только мотенную часть трала. Пластины мотенной части невысокие, и это обстоятельство позволит изменить линейные размеры пластей в условиях судовой палубы. Разумеется, модернизация только мотенной части должна проводиться с другим линейным масштабом. Масштаб подобия площадей трала можно представить в виде:

$$C_F = \frac{C_{F_{кч}} F_{кч} + C_{F_{мч}} F_{мч}}{F_{кч} + F_{мч}},$$

где $C_{F_{кч}}$ – масштаб подобия площадей канатной части трала; $C_{F_{мч}}$ – масштаб подобия площадей мотенной части трала; $F_{кч}$ – площадь нетто канатной части, м²; $F_{мч}$ – площадь нетто мотенной части, м².

Тогда

$$C_{F_{мч}} = \frac{C_{F_{тр}} F_{тр} - C_{F_{кч}} F_{кч}}{F_{мч}}, \quad (3)$$

где $F_{тр}$ – суммарная площадь нетто канатной и мотенной частей трала.

Зависимость (3) можно упростить, т. к. канатная часть не модернизируется, т. е. $C_{F_{кч}} = 1$, тогда окончательно:

$$C_{F_{мч}} = \frac{C_{F_{тр}} F_{тр} - F_{кч}}{F_{мч}}. \quad (4)$$

Для иллюстрации применения методики приведем числовой пример.

На судне рыбопромыслового траулера морозильного типа «Прометей» в начале рейса была зафиксирована фактическая тяга $Pp_{\phi 1} = 274$ кН, во второй половине рейса $Pp_{\phi 2} = 235$ кН. Судно было вооружено тралом Р-К-120/1120 проекта 2888 ООО «НПО Промрыболовства». Трал на скорости траления 5,2 уз имеет сопротивление $R_{тр} = 278$ кН при стандартной оснастке (площадь траловых досок $F_{д} = 9$ м²; площадь гидродинамических щитков $F_{щ} = 6$ м²; масса грузов-углубителей $M_{гв} = 1\,500$ кг; длина кабельной оснастки $l_{к} = 150$ м) и при допустимой нагрузке на главный двигатель $Ne = 2\,350$ кВт (относительная мощность главного двигателя $\overline{Ne}_{гд} = 95\%$; отбора мощности валогенератором $N_{вг} = 340$ кВА). Сопротивление трала соответствовало тяге судна в начале рейса, но не соответствовало ей во второй половине рейса.

Рассчитаем силовой масштаб: $C_R = \frac{235}{278} = 0,8453$.

Согласно зависимости (2) $C_L^2 = C_R$, в свою очередь $C_L^2 = C_{F_{тр}}$, следовательно, $C_{F_{тр}} = 0,8453$. У трала Р-К-120/1120 площади равны:

$$F_{кч} = 135,7 \text{ м}^2; \quad F_{мч} = 190,2 \text{ м}^2; \quad F_{тр} = 326 \text{ м}^2.$$

Тогда согласно (4) масштаб площадей мотенной части составил:

$$C_{F_{мч}} = \frac{0,8453 \cdot 326 - 135,7}{190,2} = 0,7354.$$

Линейный масштаб мотенной части:

$$C_{L_{мч}} = \sqrt{C_{F_{мч}}} = \sqrt{0,7354} = 0,8576.$$

Таким образом, мотенная часть станет меньше и по ширине и по длине на 15 %. При этом сохраняются углы атаки пластин при тралении [3]. Поскольку канатная часть не подлежала модернизации, при модернизации мотенной части не следует изменять переднюю кромку первой части мотни, чтобы не менять цикл соединения канатной и мотенной частей.

Например, натурная пластина с шагом ячеи 800 мм приведена на рис. 1.

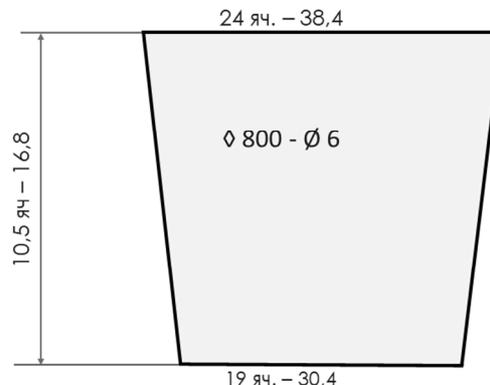


Рис. 1. Пластина мотни трала Р-К-120/1120

Расчет характеристик пластины модернизированного трала можно вести, умножая C_L на число ячей, т. к. шаг ячеей не меняется. Тогда

$$\begin{aligned} n_{1м} &= n_{1н} C_L = 24 \cdot 0,8576 = 20,58 \text{ ячеей;} \\ n_{2м} &= n_{2н} C_L = 19 \cdot 0,8576 = 16,29 \text{ ячеей;} \\ m_m &= m_n C_L = 10,5 \cdot 0,8576 = 9 \text{ ячеей.} \end{aligned}$$

Округляем результаты расчетов, руководствуясь правилом: по горизонтали округляем до целого значения числа ячеей, а по вертикали – до ближайшего значения, кратного 0,5 ячеей. Тогда получаем:

$$n_{1м} = 21 \text{ ячеей;} \quad n_{2м} = 16 \text{ ячеей;} \quad m_m = 9 \text{ ячеей.}$$

Размеры детали уменьшились на 3 ячеей по ширине и на 1,5 ячеей по высоте.

Результаты модернизации всей мотенной части приведены в табл. 1. В последней пластине мотенной части нижнюю кромку также не модернизировали, чтобы не менять цикл присоединения к мотне мешка.

Таблица 1

Результаты модернизации пластины мотенной части трала

a, мм	d, мм	Натура							Модернизация						$F_{\Phi}, \text{ м}^2$	
		Ячей			Метры				$F_{\Phi}^*, \text{ м}^2$	Ячей			Метры			
		n_1	n_2	m	l_{01}	l_{02}	h_0	n_1		n_2	m	l_{01}	l_{02}	h_0		
1 200	6	22	19	11,5	52,8	45,6	27,6	10 863	22	16	10	52,8	32,8	24	8 755,2	
800	6	24	19	10,5	38,4	30,4	16,8	4 623,36	21	16	9	33,6	25,6	14,4	3 409,92	
400	4	36	32	10	28,8	25,6	8	1 740,8	31	28	8,5	24,8	22,4	6,8	1 283,84	
200	3,1	50	45	12,5	20	18	5	760	44	39	11	17,6	15,6	4,4	584,32	
100	2,4	84	69	53,5	16,8	13,8	10,7	1 309,68	73	60	46,5	14,6	12	9,3	989,52	
65	2,4	92	61	107,5	11,96	7,93	14	1 113,84	80	61	93,5	10,4	7,93	12,15	890,8	
–	–	–	–	–	–	–	–	Σ20 410,7	–	–	–	–	–	–	Σ15 913,6	

* F_{Φ} – фиктивная площадь пластины трала.

Фиктивную площадь пластины трала определяем по формуле

$$F_{\Phi} = \frac{l_{01} + l_{02}}{2} h_0 N, \quad (5)$$

где l_{01} – длина в жгуте верхней кромки пластины, м; l_{02} – длина в жгуте нижней кромки пластины, м; h_0 – высота в жгуте пластины, м; N – количество пластин мотенной части. Для трала Р-К-120/1120 $N = 8$.

Снижение площади сопротивления приведет к уменьшению гидродинамического сопротивления трала, следовательно, траулер, испытывающий дефицит тяги, будет работать эффективнее.

Снижение линейных размеров пластин мотенной части трала – не единственный способ модернизировать имеющийся на борту промыслового судна трал с целью снижения его гидродинамического сопротивления [4]. В рейсе часто возникает ситуация, когда судну не хватает тяги, чтобы буксировать трал с необходимой для успешного лова скоростью. Рассмотрим модернизацию трала увеличением размера ячеей в некоторых деталях мотни трала.

Уравнение связи масштабного подобия имеет вид (1). Так как уменьшение сопротивления трала в данном случае будет происходить путем увеличения шага ячеей в некоторых пластинах мотенной части трала, а ее линейные размеры не подлежат изменению, т. е. $C_L = 1$, можно записать условие:

$$C_L = C_K = C_p = C_d = C_V = 1.$$

Следовательно, из выражения (1) получаем:

$$C_a = \frac{1}{C_R}.$$

Для иллюстрации предложенного метода воспользуемся данными примера, описанного выше: $Pp_{\phi 1} = 274$ кН (в начале рейса); $Pp_{\phi 2} = 235$ кН (во второй половине рейса); трал Р-К-120/1120 проекта 2888 ООО «НПО Промрыболовства». При $V_{тр} = 5,2$ уз трал имеет сопротивление $R_{тр} = 278$ кН (при оснастке $F_d = 9$ м²; $F_{ш} = 6$ м²; $M_{г\gamma} = 1\ 500$ кг; $l_k = 150$ м) и $Ne = 2\ 350$ кВт ($Ne_{гд} = 95$ %; $N_{вг} = 340$ кВА). При таком изменении тяги судна был получен силовой масштаб $C_R = 0,8453$. С учетом того, что модернизации подлежит не весь трал, а только мотенная часть, масштаб площади сопротивления $C_R = C_{Rтр} = 0,7354$.

Тогда

$$C_a = \frac{1}{0,7354} = 1,3599.$$

Рассчитаем средневзвешенный шаг ячеей в натурном трале:

$$a_{\text{ср.вз}} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i F_{ni}}{\sum_{i=1}^n F_{ni}},$$

где a_i – шаг ячеей i -й пластины, мм; F_{ni} – площадь нетто i -й пластины, м²;

$$F_n = F_{\phi} \frac{d}{a},$$

где F_{ϕ} – фиктивная площадь пластины, м²; d – диаметр веревки пластины, мм; a – шаг ячеей пластины, мм.

Фиктивная площадь рассчитывается по зависимости (5).

Расчет площадей нетто пластин трала приведен в табл. 2.

Таблица 2

Расчет площадей нетто трала Р-К-120/1120

a , мм	d , мм	n_1 , мм	n_2 , мм	m , ячеей	l_{01} , м	l_{02} , м	h_0 , м	F_{ϕ} , м ²	F_n , м ²
1 200	6	22	19	11,5	52,8	45,6	27,6	10 863	54,32
800	6	24	19	10,5	38,4	30,4	16,8	4 623	34,68
400	4	36	32	10,0	28,8	25,6	8,0	1 741	17,41
200	3,1	50	45	12,5	20,0	18,0	5,0	760	11,78
100	2,4	84	69	53,5	16,8	13,8	10,7	1 310	31,43
65	2,4	92	61	107,5	11,96	7,93	13,975	1 112	41,05
Σ									190,6

Средневзвешенный шаг, мм, ячеей мотенной части натурального трала Р-К-120/1120 рассчитывается следующим образом:

$$a_{\text{ср.вз.н}} = \frac{1200 \cdot 54,32 + 800 \cdot 34,68 + 400 \cdot 17,41 + 200 \cdot 11,78 + 100 \cdot 31,43 + 65 \cdot 41,05}{190,6} = 566,94.$$

В соответствии с масштабом C_a у модернизированного трала средневзвешенный шаг ячеей, мм, должен быть:

$$a_{\text{ср.вз.м}} = a_{\text{ср.вз.н}} C_a = 566,94 \cdot 1,3598 = 770,9.$$

Рассчитав средневзвешенные шаги ячей мотни модернизированного трала, если заменить пластины с шагом 800 и 400 мм на пластины с шагом 1 200 мм, получили $a_{\text{ср.вз.м1}} = 712,5$ мм. Это означает, что замена двух пластин недостаточна. Замена трех пластин с шагом ячеей 800, 400 и 200 мм дает средневзвешенный шаг модернизированной мотни $a_{\text{ср.вз.м1}} = 774,6$ мм.

Соответственные изменения в чертеже трала представлены на рис. 2.

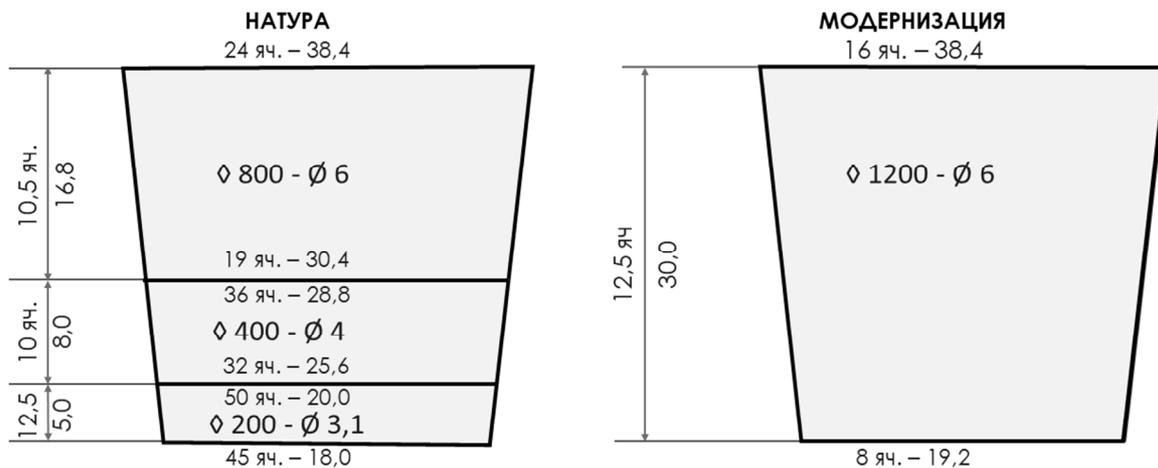


Рис. 2. Натурные и модернизированные пласти мотенной части трала Р-К-120/1120

Для модернизации трала в рейсе изложенным выше методом необходимо заблаговременно взять в качестве запасной части к тралу 170 кг дели с шагом 1 200 мм. Расчет произведен по [5], согласно которому дель из веревки диаметром 6 мм и с шагом ячеей 1 200 мм имеет массу 24,04 г на 1 м квадратной фиктивной площади.

Замена пластей с меньшим шагом ячеей на пласти с большим шагом на улавливающие свойства трала существенно не повлияет, т. к. эти части для рыбного скопления имеют направляющую, а не аккумулирующую функцию. Возможное рассеивание некоторых особей несравнимо с экономическими потерями от недолова при промысле на недостаточной скорости траления или эксплуатации главного двигателя на предельных нагрузках для обеспечения необходимой скорости траления.

Заключение

Предлагаемые способы модернизации трала с целью уменьшения его гидродинамического сопротивления в условиях дефицита тяги судна не представляют для судовых специалистов большой сложности и подразумевают минимальные изменения деталей мотенной части трала. Применение представленных методик позволит грамотно, безопасно и безаварийно эксплуатировать рыболовную систему «судно – трал», вести успешный промысел без перегрузки главного двигателя, что предотвращает его повышенный износ, расход топлива и аварии вследствие перегрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рязанова Т. В. Повышение эффективности промысловой эксплуатация траулеров на основе факторного анализа их тяг: дис. ... канд. техн. наук. Калининград, 2011. 168 с.
2. Розенштейн М. М., Недоступ А. А. Механика орудий рыболовства. М.: Моркнига, 2011. 528 с.
3. Долин Г. М. Паспортизация орудий рыболовства // Балтийский морской форум: материалы VI Междунар. Балтий. мор. форума: в 6 т. (Калининград, 03–06 сентября 2018 г.). Калининград: Изд-во КГТУ, 2018. С. 364–368.
4. Рязанова Т. В., Долин Г. М. Опыт технической паспортизации малого рыболовного трала. Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. 2009. № 3. С. 62–63.

5. ТУ 15-08-334-89. Дели рыболовные ниточные узловые капроновые. Технические условия. ООО «НПО Промрыболовства». 64 с.

Статья поступила в редакцию 15.05.2021

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Татьяна Валерьевна Рязанова – канд. техн. наук; доцент кафедры судовождения и промышленного рыболовства; Керченский государственный морской технологический университет; Россия, 298309, Керчь; metodmf@mail.ru.



FISHING TRAWL MODERNIZATION METHODS UNDER SHIP THRUST DEFICIENCY DURING VOYAGE

T. V. Riazanova

*Kerch State Marine Technological University,
Kerch, Russian Federation*

Abstract. The article considers the problems of compatibility between the hydrodynamic resistance of the trawl and the actual trawler's thrust, which have lost the ability to provide the necessary traction force due to the increase in the resistance of the ship's hull and wear of the engine-propulsion system. The area of resistance of the trawl system is proposed to be reduced by reducing the linear dimensions of the layers of the trawl part, as well as by replacing some layers of the trawl with a smaller mesh by those with larger meshes. It is noted that during fishing vessel masters often make an intuitive decision to replace trawls with those of less powerful vessels. Methods of reducing the area of trawl resistance are considered, which will lead to a decrease in its hydrodynamic resistance of the trawl fishing system. Numerical examples of the considered technique are given. The trawl plate P-K-120/1120, full-scale and modernized parts of the trawl are illustrated. The results of the trawl part modernization are presented, and the formula for calculating the fictitious trawl area is presented. The method of modernization of the trawl due to the increase in the size of the trawl in some parts of the trawl is analyzed, the average weighted step of the mesh in the full-scale trawl is calculated. The developed methodology should allow solving the problem of trawl modernization promptly, in the conditions of the fishing deck, by the forces of the ship's crew. The proposed methods for the modernization of a fishing trawl will allow avoiding large costs for the repair of the main engine of a fishing vessel operating a trawl that does not correspond to the technical condition of the trawler, or to reduce the underfishing with a smaller trawl.

Key words: trawl, actual thrust, trawler, drag of the trawl, dummy area, mesh increase.

For citation: Riazanova T. V. Fishing trawl modernization methods under ship thrust deficiency during voyage. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2021;3:52-59. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2021-3-52-59.

REFERENCES

1. Riazanova T. V. *Povyshenie effektivnosti promyslovoi ekspluatatsii traulerov na osnove faktornogo analiza ikh tiag: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Improving efficiency of commercial operation of trawlers on basis of factor analysis of their traction: diss. cand. tech. sci.]. Kaliningrad, 2011. 168 p.
2. Rozenshtein M. M., Nedostup A. A. *Mekhanika orudii rybolovstva* [Mechanics of fishing tools]. Moscow, Morkniga Publ., 2011. 528 p.

3. Dolin G. M. Paspportizatsiia orudii rybolovstva. Baltiiskii morskoi forum [Certification of fishing gear. Baltic marine forum]. *Materialy VI Mezhdunarodnogo Baltiiskogo morskogo foruma: v 6 tomakh (Kaliningrad, 03–06 sentiabria 2018 g.)*. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2018. Pp. 364-368.

4. Riazanova T. V., Dolin G. M. Opyt tekhnicheskoi pasportizatsii malogo rybolovnogo trala [Practice of technical certification of small fishing trawls]. *Rybprom: tekhnologii i oborudovanie dlia perera-botki vodnykh bioresursov*, 2009, no. 3, pp. 62-63.

5. TU 15-08-334-89. *Deli rybolovnye nitochnye uzlovyie kapronovye. Tekhnicheskie usloviia* [TU 15-08-334-89. Fishing nodal kapron threads. Specifications]. ООО «NPO Promrybolovstva». 64 p.

The article submitted to the editors 15.05.2021

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Tatiana V. Riazanova – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Navigation and Commercial Fishing; Kerch State Maritime Technological University; Russia, 298309, Kerch; metodmf@mail.ru.

