

На правах рукописи



**КОНОВАЛОВА КАРИНА ВИТАЛЬЕВНА**

**МЕХАНИКА ЯЧЕИ ДЕЛИ ТРАЛОВЫХ МЕШКОВ**

4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Калининград – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Калининградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «КГТУ»).

Научный руководитель:

**Недоступ Александр Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

**Лисиенко Светлана Владимировна**, доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Промышленное рыболовство» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет» (ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз»);

**Коваленко Михаил Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, советник Камчатского филиала Государственного научного центра Российской Федерации Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»)).

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «АГТУ»)

Защита диссертации состоится «28» мая 2025 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета 37.2.007.04 на базе ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» по адресу г. Калининград, Профессора Баранова, 43, Зал заседаний диссертационных советов ауд. 101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» по адресу: [https://klgtu.ru/upload/dissertations/konovalova/konovalova\\_diss.pdf](https://klgtu.ru/upload/dissertations/konovalova/konovalova_diss.pdf).

Отзывы на автореферат, заверенные гербовой печатью учреждения, следует направлять по адресу: 236022, г. Калининград, Советский пр., д. 1, ФГБОУ ВО «КГТУ», диссертационный совет 37.2.007.04, ученому секретарю Агееву О.В., а также на электронный адрес: [oleg.ageev@klgtu.ru](mailto:oleg.ageev@klgtu.ru)

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 37.2.007.04  
кандидат технических наук, доцент



Агеев Олег Вячеславович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Актуальность диссертации состоит в исследовании механики ячеи дели траловых мешков. Траловый мешок служит для аккумуляции улова. При обосновании выбора тралового мешка необходимо учитывать факторы, которые оказывают влияние на его форму: материал, длина, количество ячей и пластей, форма ячеи. Селективность тралового мешка зависит от формы ячеи его дели, при этом существует связь и с формой (периметром) тела рыбы. По мере накопления улова в мешке стандартная ячея ( $T_0$ ) начинает затягиваться и закрываться – это снижает способность непромысловым рыбам и прилову использовать ячеи дели для выхода. Ячея дели  $T_{90}$  ( $T_0$  повернутая на  $90^\circ$ ) способствует уменьшению прилова молоди и сохранению цилиндрической формы тралового мешка в процессе траления, тем самым уменьшают сопротивление. Элементарная ячея с точки зрения механики представляет собой закрепленные концами в узлах гибкие нити, в которых в качестве расчетной модели нужно исследовать нить конечной жесткости, т. е. учитывать деформацию изгиба, от которой зависит форма ячеи.

Вопросы изучения гибкой нити в промышленном рыболовстве привлекли внимание многих ученых: Баранов Ф.И. (1948), Фридман А.Л. (1967, 1981), Стрекалов В.Н. (1969, 1977), Меркин Д.Р. (1980), Розенштейн М.М. (2000).

Анализ научных работ российских и зарубежных авторов (Коротков В.К. (1999), O'Neill P. (2017), Wienbeck H. и Herrmann B. (2011), Moderhak W. (2003), Priour D. (2011)) показал, что все исследователи не учитывают изгибную жесткость элементарной ромбической ячеи  $T_0$  и  $T_{90}$ , тем самым авторы рассматривают простые схематизации элементарной ячеи (без учета изгибной жесткости), которые масштабируются на всю конструкцию тралового мешка, что ведет к неточностям в расчетах и неверному обоснованию его раскрытия.

**Степень разработанности темы исследования.** Среди отечественных ученых изучением траловых мешков занимались: Шевченко А.И. (1968, 1970), Гюльбадамов С.Б. (1959), Трещев А.И. (1974), Коротков В.К. (1976, 1999), Болотов В.М. (1999), Толмачев В.И. (1964, 1968), Шевцов С.Е. (1977), Денисов Л.И. (1966).

Советский ученый Коротков В.К., считая, что селективные качества тралов отражаются в селективных свойствах тралового мешка, изучал создание различных

конструкций тралового мешка и специальных селективных устройств, используемых в орудиях лова. Неоценимый вклад для обеспечения селективности траловых мешков с точки зрения механики ячеи дели внесли ученые зарубежных стран (Германии, Польши, Дании, Норвегии, Испании): O'Neill P. (1997, 2017), Bayse S.M. (2016), Herrmann B. (2006, 2009), Moderhak W. (2003), Priour D. (2011).

На основании работ ученых можно сделать вывод, что при расчете ячеи дели траловых мешков не учитывается одно из главных физико-механических свойств рыболовных материалов – изгибная жесткость.

**Цели и задачи.** Целью диссертационной работы является исследование механики ячеи дели траловых мешков.

В соответствии с целью исследования в работе поставлены следующие задачи:

— разработать методику расчета изгибной жесткости веревок, ниток и шнуров, из которых изготовлена элементарная ромбическая ячея;

— провести экспериментальные исследования изгибной жесткости крученых веревок, ниток и шнуров;

— разработать математическую модель и алгоритм расчета изгибной жесткости синтетических шнуров;

— создать компьютерную программу на основании проведенных экспериментов, способную визуализировать процессы, проходящие с синтетическими шнурами в момент изгиба;

— разработать математическую модель и алгоритм расчета элементарной ромбической ячеи Т90 с учетом изгибной жесткости;

— создать компьютерную программу, способную визуализировать форму ячеи Т90 тралового мешка;

— провести эксперименты с траловыми мешками, изготовленными из дели Т0 и Т90, и разработать математическую модель по определению гидродинамического коэффициента сопротивления.

**Научная новизна работы.** В ходе диссертационного исследования была определена зависимость изменения формы ячеи дели траловых мешков от изгибной жесткости.

В результате исследования:

— разработана единая методика расчета изгибной жесткости веревок, ниток и шнуров, из которых изготовлена элементарная ромбическая ячейка;

— разработана математическая модель и алгоритм расчета элементарной ромбической ячейки Т90 с учетом изгибной жесткости;

— создана компьютерная программа, способная визуализировать процессы, проходящие с синтетическими шнурами в момент изгиба;

— разработана математическая модель и алгоритм расчета элементарной ромбической ячейки Т90 с учетом изгибной жесткости;

— созданы компьютерные программы, способные визуализировать форму ячейки Т90 тралового мешка.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость работы состоит в исследовании изменения формы ячейки деля траловых мешков с точки зрения сопротивления анизотропных рыболовных материалов.

Практическая значимость работы состоит в том, что на стадии проектирования траловых мешков становится возможным задавать форму ячейки с учетом изгибной жесткости рыболовного материала для облавливания гидробионтов, которые имеют соответствующий периметр тела рыбы.

**Методология и методы исследования.** В диссертационном исследовании применялись: анализ технической литературы и нормативной документации; натурные эксперименты; эмпирические методы (экспериментальные исследования физических моделей траловых мешков в гидроканале ООО «Фишеринг Сервис»); математическое моделирование и имитационное моделирование на компьютере с использованием специализированных программных продуктов. В процессе обработки статистических данных и результатов экспериментальных исследований использовалось программное обеспечение Microsoft Excel. Выполнение математического моделирования выполнялось с использованием ПО MathCad. ПО «Моделирование изгиба крученых рыболовных ниток, веревок и канатов» (Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2020612966 (06 марта 2020 г.).

**Положения, выносимые на защиту:**

— методика расчета изгибной жесткости веревок, ниток и шнуров, из которых изготовлена элементарная ромбическая ячейка;

— математическая модель и алгоритм расчета изгибной жесткости рыболовных синтетических материалов;

— компьютерная программа, способная визуализировать процессы, происходящие с синтетическими шнурами в момент изгиба;

— математическая модель и алгоритм расчета элементарной ромбической ячеи Т90 с учетом изгибной жесткости;

— компьютерные программы, способные визуализировать форму ячеи Т90 тралового мешка;

— математическая модель по определению гидродинамического коэффициента сопротивления траловых мешков с делью Т0 и Т90.

**Степень достоверности и апробации результатов.** Степень достоверности полученных результатов подтверждена повторностью проведенных опытов, обработкой результатов исследований с применением статистических и математических методов анализа.

Основные результаты и положения диссертации ежегодно докладывались на расширенных заседаниях кафедры промышленного рыболовства, представлялись на Международном Балтийском морском форуме, «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии» секции «Промышленное Рыболовство», г. Калининград; Международный рыбопромышленный форум 2023: Открытый разговор «Смотрим за горизонт», г. Санкт-Петербург.

Исследования проводились в рамках госбюджетных НИР кафедры промышленного рыболовства, а также при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-48-390004 «Разработка физических, математических и имитационных моделей технологий управления траловым комплексом при сложных комбинированных нагружениях и больших формоизменениях траловых конструкций», ГБ НИР КГТУ № 03/2024 «Разработка физических, математических и предсказательных моделей процессов эксплуатации донного и разноглубинного траловых комплексов» и ФСИ по программе «УМНИК» по теме «Разработка программного продукта для проектирования новых синтетических шнуров орудий промышленного рыболовства и швартовых» в рамках договора № 16959гу/2021от 09.06.2021г. РНФ 25-21-00008 «Физическое, математическое и

компьютерное моделирование сетных инженерных конструкций с учетом внешних факторов воздействия».

**Личное участие автора.** В 2021–2024 гг. автором сформулированы цели и задачи исследования, разработана методика определения изгибной жесткости рыболовных материалов, проведены экспериментальные исследования изгибной жесткости, разработана математическая модель и алгоритм расчета изгибной жесткости рыболовных материалов, на основании проведенных экспериментов разработана компьютерная программа, способная визуализировать процессы, проходящие с синтетическими шнурами в момент изгиба, разработан алгоритм расчета элементарной ромбической ячей Т90 с учетом изгибной жесткости, проведены натурные и модельные эксперименты с траловыми мешками, изготовленными из дели Т0 и Т90, подготовлены соответствующие научные материалы для научно-технических конференций и публикации в научных трудах и журналах, написана диссертация на тему «Механика ячей дели траловых мешков».

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ, в том числе 5 – в изданиях из перечня Российских рецензируемых научных журналов ВАК Минобрнауки России, 3 – Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит: введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем работы составляет 169 страниц машинописного текста, 60 рисунков, 23 таблицы, 5 приложений. Список использованных источников состоит из 111 наименований, из которых 35 принадлежат иностранным авторам.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цели исследования, научная новизна, приведена степень достоверности и апробации результатов исследования, теоретическая и практическая значимость работы, а также указаны методы исследования.

В первой главе «Обзор исследований механики ячеи дели траловых мешков» приведен обзор отечественных и иностранных исследований, посвященных изучению конструкций траловых мешков: Шевченко А.И. (1968, 1970), Гюльбадамов С.Б. (1959), Трещев А.И. (1974), Коротков В.К. (1976, 1999), Болотов В.М. (1999), Толмачев В.И. (1964, 1968), Шевцов С.Е. (1977), Денисов Л.И. (1966), O'Neill P. (1997, 2017), Bayse S.M. (2016), Herrmann B. (2006, 2009), Moderhak W. (2003), Priour D. (2011).

На основании работ ученых можно сделать вывод, что при расчете ячеи дели траловых мешков не учитывается одно из главных физико-механических свойств рыболовных материалов – изгибная жесткость.

Селективность дели зависит от формы ячеи, при этом существует связь и с формой (периметром) тела рыбы. По мере накопления улова в мешке стандартная ячея (T0) начинает затягиваться и закрываться – это снижает способность непромысловым рыбам и прилову использовать ячеи дели для выхода.

Квадратная ячея дели T45 (T0 повернутая на  $45^\circ$ ) и ячея дели T90 (T0 повернутая на  $90^\circ$ ) под натяжением практически не закрывается, что способствует уменьшению прилова молоди и сохранению цилиндрической формы тралового мешка в процессе траления, тем самым уменьшая сопротивление (рисунок 1).

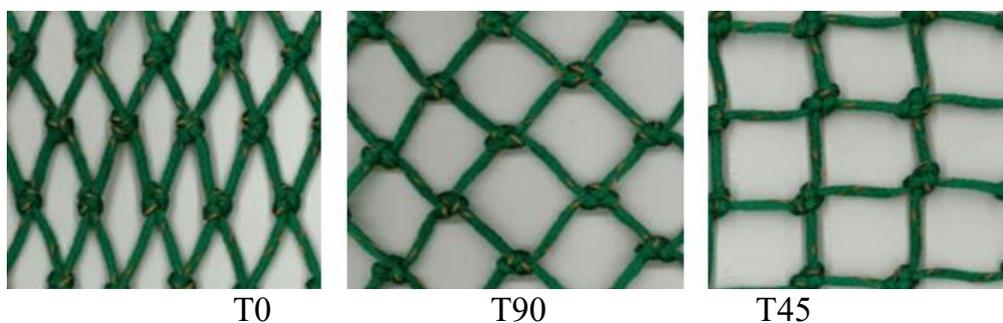


Рисунок 1 – Дели с различной ориентацией ячеи

На основании этого было решено построить модель элементарной ромбической ячеи с учетом изгибной жесткости с целью использования в дальнейшем этих данных при проектировании орудий рыболовства.

**Вторая глава «Исследование изгибной жесткости рыболовных материалов»** посвящена изучению изгибной жесткости ( $EI$ , Нм<sup>2</sup>) рыболовных материалов. Способность изделия сопротивляться изменению формы при действии внешней изгибающей силы называют изгибной жесткостью ( $EI$ ), она равна произведению модуля упругости материала  $E$ , Н/м<sup>2</sup> изделия на момент инерции сечения  $I$  изделия.

В главе представлен экспериментальный путь определения изгибной жесткости – «геометрический метод». Он позволяет изучить жесткость по единой методике для большинства изделий.

Для его реализации были взяты синтетические нитевидные изделия из полиамида (ПА), полипропилена (ПП) и полиэфира (ПЭФ) (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика синтетических экспериментальных образцов

Тип	Материал	$d$ , мм
Нить	полиамид, полипропилен, полиэфир	2,0
Веревка		3,1
Веревка		4,0
Шнур		2,0
Шнур		3,0
Шнур		4,0

Так как рассматриваемые изделия не абсолютно гибкие, то при сбегании и набегании на штырь ( $D=2,0$ ; 4,0 и 6,0–30,0 мм) они будут сохранять изогнутость и отделяться не в точке, лежащей на конце горизонтального диаметра, а ниже от направления вертикальных прямых (рисунок 2) – плечей жесткости.



Рисунок 2 – ПП:  $d=2,0$  мм,  $l=120,0$  мм,  $D=2,0$  мм

В таблице 2 представлена часть экспериментальных данных, определенных на штыре диаметром 2,0 мм: для изделий, различной длины и диаметра из ПА, ПЭФ и ПП.

Таблица 2 – Изгибная жесткость синтетических нитей и веревок,  $D = 2,0$  мм

Образец	Длина, м	$EI \cdot 10^{-4}$ , Нм <sup>2</sup>	Образец	Длина, м	$EI \cdot 10^{-4}$ , Нм <sup>2</sup>	Образец	Длина, м	$EI \cdot 10^{-4}$ , Нм <sup>2</sup>
ПА 187 Текс, $d=2,0$ мм	0,12	0,13	ПЭФ 93,5 Текс, $d=2,0$ мм	0,12	0,10	ПП 187 Текс, $d=2,0$ мм	0,12	0,07
	0,16	0,18		0,16	0,20		0,16	0,13
	0,20	0,26		0,20	0,20		0,20	0,45
	0,24	0,47		0,24	0,30		0,24	0,60
ПА 187 Текс, $d=3,0$ мм	0,12	0,16	ПЭФ 93,5 Текс, $d=3,0$ мм	0,12	0,11	ПП 187 Текс, $d=3,0$ мм	0,12	0,10
	0,16	0,19		0,16	0,26		0,16	0,17
	0,20	0,44		0,20	0,30		0,20	0,39
	0,24	0,71		0,24	0,60		0,24	0,56
ПА 187 Текс, $d=4,0$ мм	0,12	0,22	ПЭФ 93,5 Текс, $d=4,0$ мм	0,12	0,22	ПП 187 Текс, $d=4,0$ мм	0,12	0,26
	0,16	0,32		0,16	0,70		0,16	0,32
	0,20	0,53		0,20	1,10		0,20	0,73
	0,24	0,89		0,24	1,34		0,24	0,90

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что вид сырья, структура, диаметр и длина самого изделия оказывают значительное влияние на изгибную жесткость.

В третьей главе «Программный продукт для прогнозирования свойств синтетических шнуров» для достижения поставленной цели были определены основные физико-механические свойства синтетических шнуров, а также выявлена взаимосвязь между ними. На рисунках 3, 4 представлены алгоритмы, созданные на основании полученных математических зависимостей.

– Алгоритм расчета зависимости физико-механических свойств синтетических нитей, веревок, канатов и шнуров, где  $d$  – диаметр, мм;  $m$  – масса, г;  $l$  – длина, мм;  $T_x$  – приложенная сила растяжения, Н;  $S$  – площадь сечения, мм<sup>2</sup>;  $E_x$  – продольный модуль упругости, мПа;  $\lambda$  – конструктивное удлинение;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\alpha$  – безразмерное сужение;  $e_m$  – отношение модулей упругости;  $E_y$  – поперечный модуль упругости, мПа;  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $\chi$  – безразмерная компенсационная сила;  $\varepsilon_p$  – относительная поперечная деформация, %;  $T_y$  – сила сжатия, Н;  $T_y^d$  – компенсационная сила (противодействия в поперечном направлении), Н;  $E$  – модуль Юнга, мПа;  $\sigma$  – напряжение, мПа;

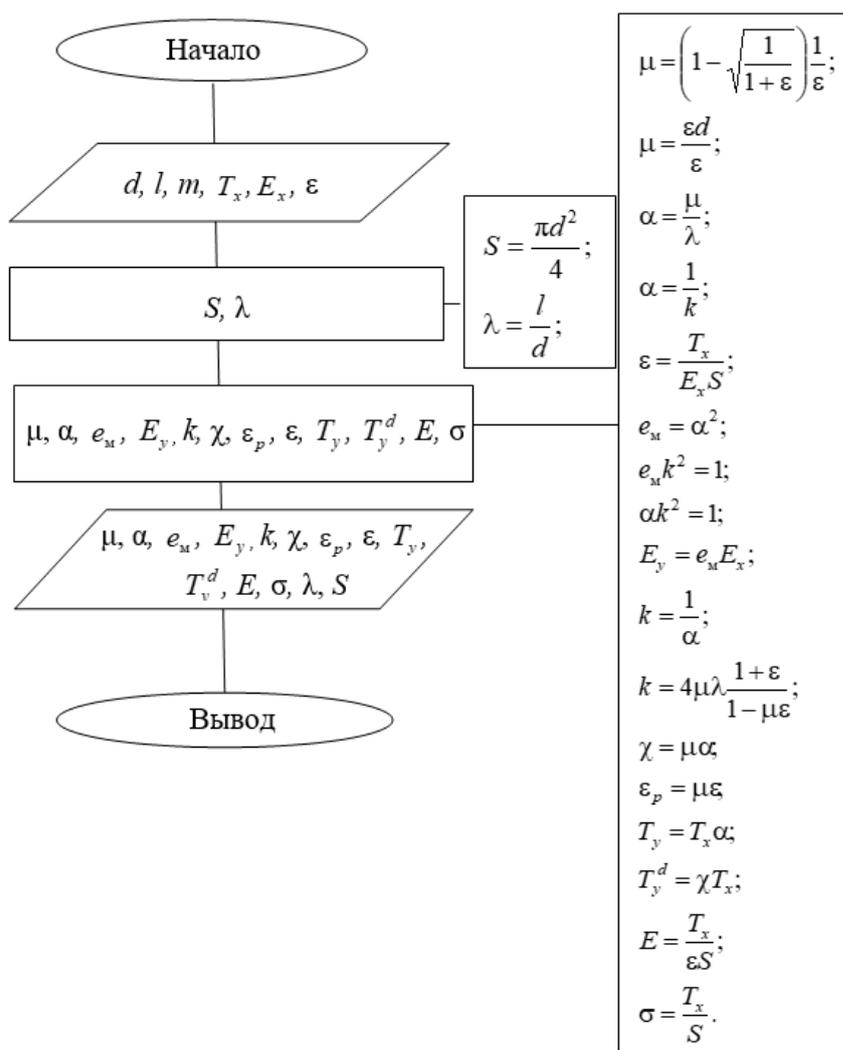


Рисунок 3 – Алгоритм расчета зависимости физико-механических свойств синтетических нитей, веревок, канатов и шнуров

– Алгоритм, отвечающий за конструктивные характеристики синтетических шнуров, где  $H$  – шаг плетения, мм;  $d_{\text{нит}}$  – диаметр нити пряди, мм;  $N$  – количество прядей;  $N_{\text{п}}$  – количество прядей на одном слое;  $d_c$  – диаметр сердечника, мм;  $\varepsilon$  – относительная продольная деформация, %;  $T_n$  – линейная плотность, Текс;  $L_1$  – длина окружности одного слоя оплетки, мм;  $n$  – количество нитей в пряди;  $d_1$  – диаметр нижнего слоя оплетки, мм;  $H_c$  – шаг витка оплетки при обжати нитей сердечника, мм;  $\text{tg}\varphi$  – угол плетения;  $\psi$  – плотность плетения;  $l_b$  – длина нити на витке, мм;  $l_{\text{п}}$  – увеличение длины оплетки до момента ее обжатия нитей сердечника;  $h$  – ширина пряди, мм;  $K$  – число прядей в оплетке, шт.

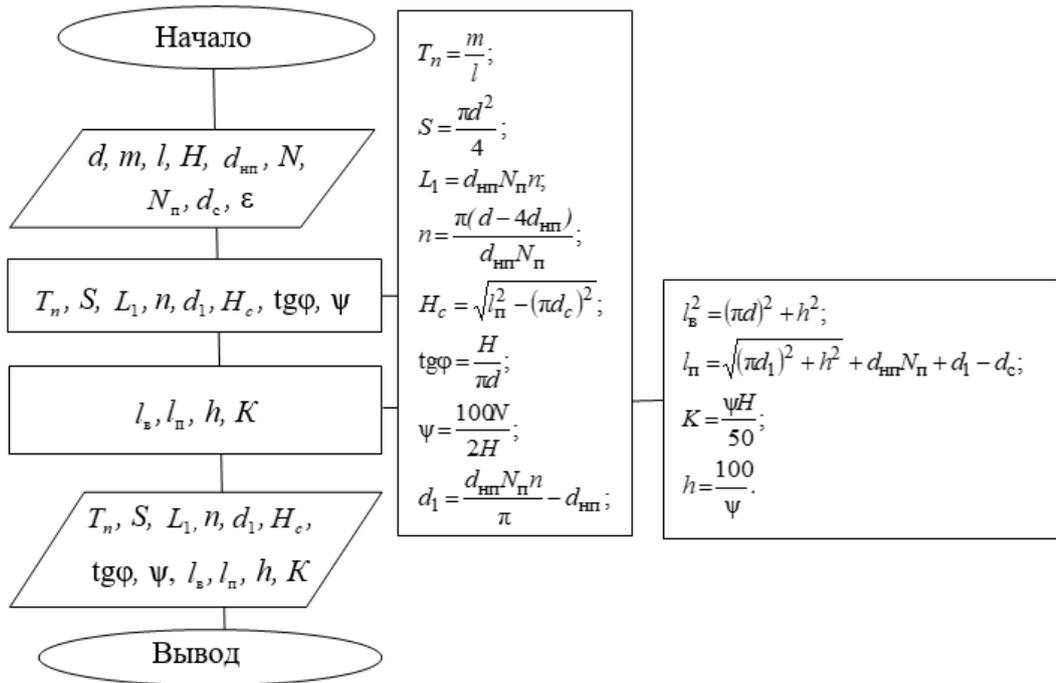


Рисунок 4 – Алгоритм, отвечающий за конструктивные характеристики синтетических шнуров

Основываясь на полученных алгоритмах, была создана программа для ЭВМ «Проектирование синтетических шнуров орудий промышленного рыболовства» (Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2023662966). Она позволяет после ввода исходных данных произвести прогнозирование нитевидных изделий. При запуске программы перед пользователем открывается основное рабочее пространство (рисунок 5) с таблицей входных и выходных данных со спектром силы натяжения и 3D-моделью.

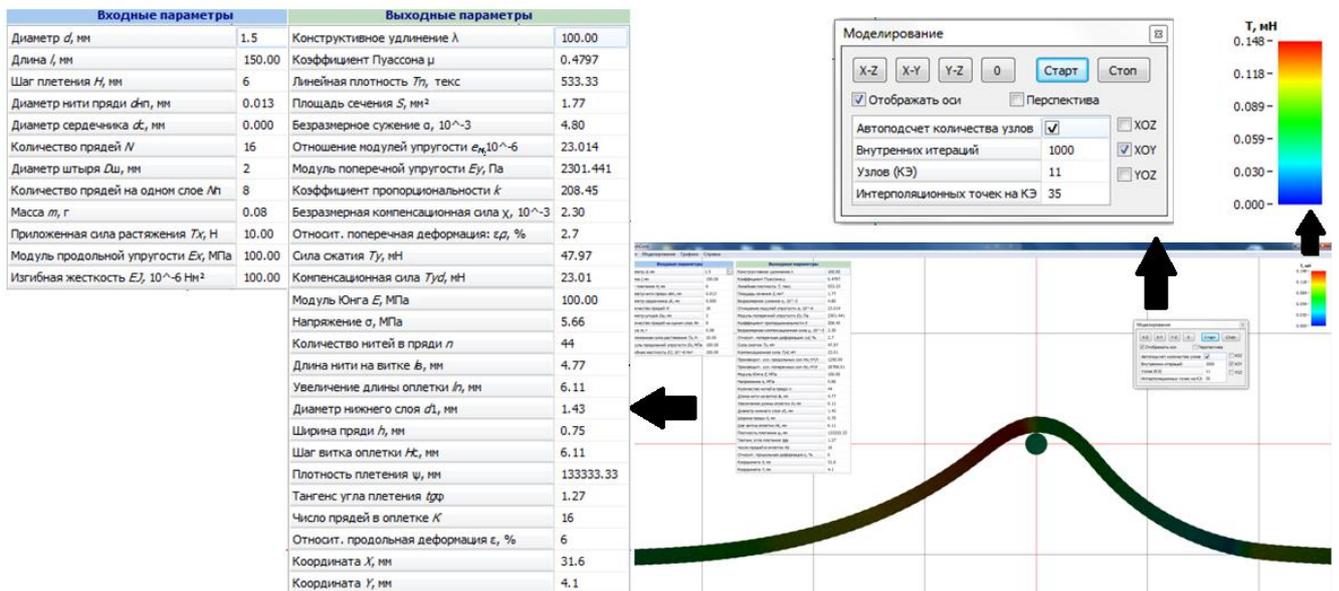


Рисунок 5 – Окно рабочего пространства

Для проверки работоспособности было проведено сопоставление натуральных и численных результатов испытаний с различными образцами синтетических шнуров. При проведении экспериментов были сопоставлены геометрические характеристики – погрешность не превышает 5 %. Недостатком программы является увеличение погрешности при значениях близких к разрывным нагрузкам вследствие их нелинейной природы.

В четвертой главе «Моделирование формы элементарной ячейки Т90» для создания модели формы ячейки было решено рассмотреть шаг ячейки как гибкую нить, закрепленную узлами с двух сторон. В Т90 изгиб сравним с длиной шага, а угол изгиба может достигать  $90^\circ$ , поэтому было решено разделить шаг ячейки на две симметричные части, тем самым сделав его похожим на балку, которая прикреплена одним концом к стене и нагружена на свободном конце сосредоточенной силой и равномерно распределенной силой тяжести.

На рисунке 6 представлена описанная цепная линия, где  $f_0$  – стрела прогиба, мм;  $a/2$  – длина цепной линии, мм;  $a_1$  – расстояние между вершинами цепной линии, мм;  $\beta$  – угол наклона, град.;  $P_0$ ,  $T_0$  – силы натяжения, Н;  $L$  – проекция цепной линии к оси  $x$ , мм;  $Q$  – конечная точка цепной линии с координатами  $(L; f_0)$ .

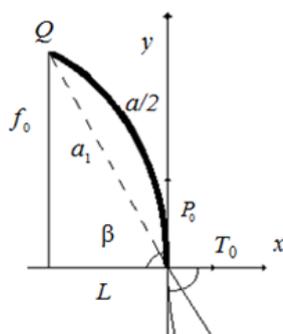


Рисунок 6 –  $\frac{1}{2}$  шага ячейки

Предложенный метод описывает форму ячейки с использованием расчета цепной линии без каких-либо возможных упрощений, когда значение ожидаемой стрелы прогиба невелико.

На основании полученных математических зависимостей были созданы два алгоритма:

— для расчета жесткостных характеристик ячейки Т90 тралового мешка. Он позволяет рассчитать изгибную жесткость и удлинение рыболовных материалов, из которых изготовлена ячейка Т90 по замеренным размерам ячейки (рисунок 7);

— для расчета механики ячеи Т90 тралового мешка, который позволяет рассчитать форму Т90 с учетом изгибной жесткости рыболовных материалов (рисунок 8).

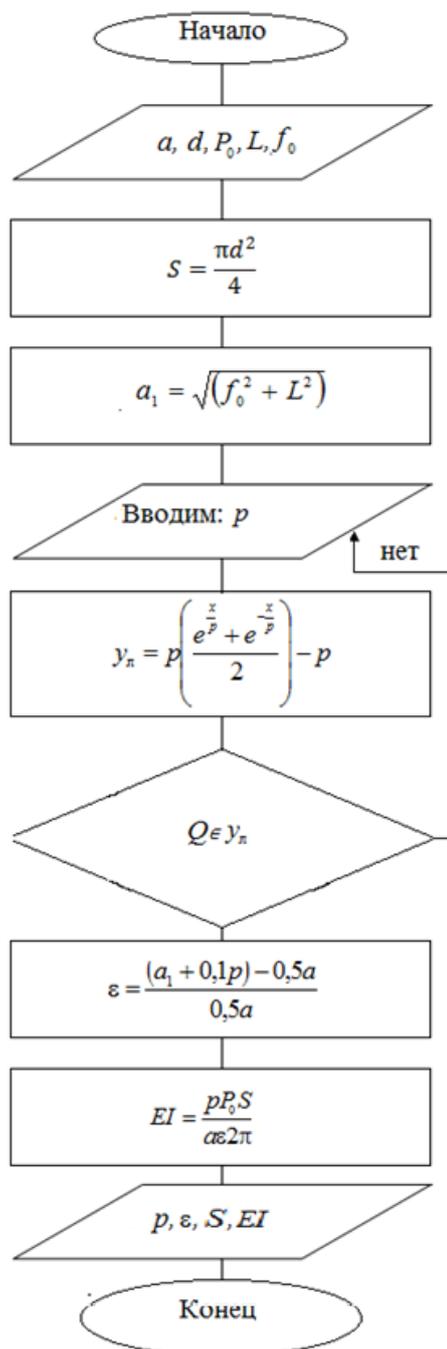


Рисунок 7 – Алгоритм расчета жесткостных характеристик ячеи Т90 тралового мешка

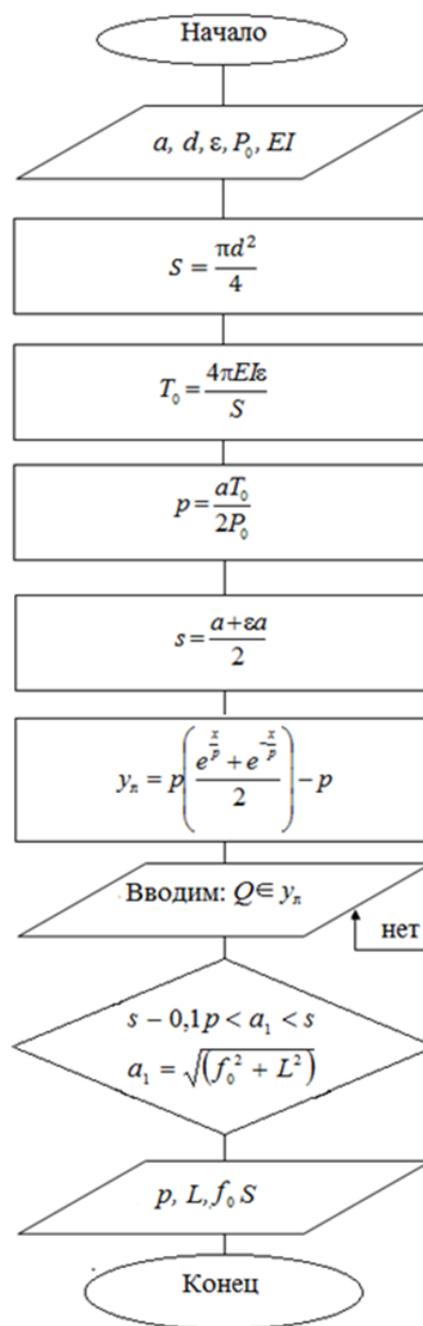


Рисунок 8 – Алгоритм для расчета ячеи Т90 тралового мешка

Для верификации описанных математических моделей были разработаны программы по определению формы ячеи с учетом изгибной жесткости.

Компьютерная программа «Расчет жесткостных характеристик ячеи Т90 тралового мешка» позволяет рассчитать изгибную жесткость и удлинение рыболовных

материалов, из которых изготовлена ячея Т90 по экспериментально замеренным размерам ячеи.

«Механика ячеи Т90 тралового мешка» позволяет рассчитать форму ячеи Т90 с учетом изгибной жесткости рыболовных материалов.

При запуске программ открывается главное окно (рисунок 9).

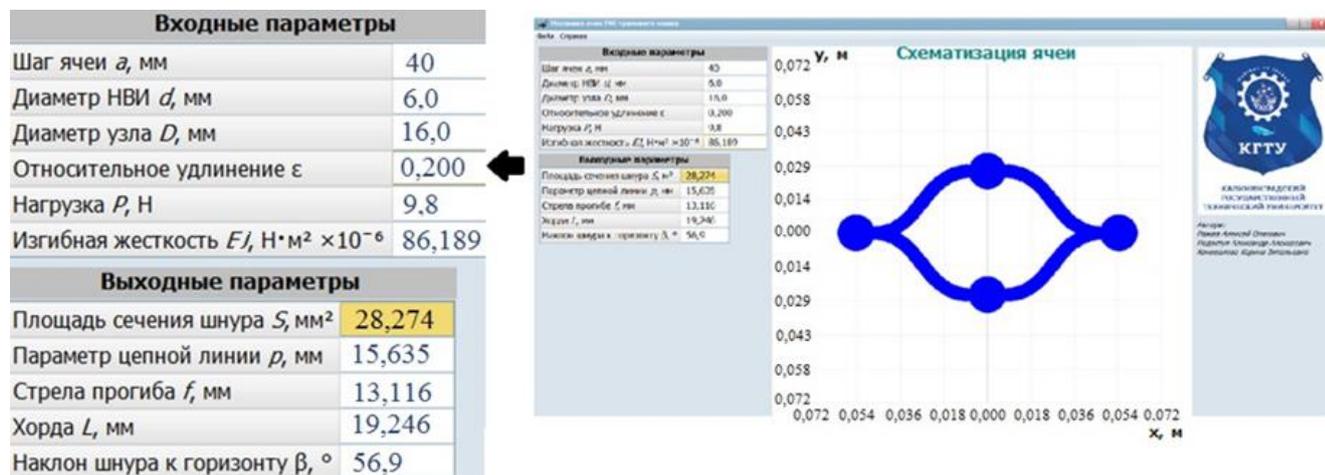


Рисунок 9 – Главное окно программы «Механика ячеи Т90 тралового мешка»

Для проверки созданных программных продуктов было проведено сопоставление натуральных и численных результатов испытаний с образцами ячеи из синтетических материалов (таблица 1) и готовых делей применяемых на промысле (таблица 3).

Таблица 3 – Характеристика ячеи

№ п/п	Тип	Материал	$a$ , мм	$d$ , мм
1	Нитка	Полиамид	8,0	1,0
2	Шнур	Полиэтилен	60,0	5,0
3	Шнур	Полиэтилен	45,0	5,0
4	Шнур	Полиэтилен (Euroline Premium)	40,0	6,0
5	Шнур	Полиэтилен	45,0	6,0

При проведении экспериментов были сопоставлены силовые и геометрические характеристики. На рисунке 10 демонстрируется сравнение формы образцов, для ячеи из полиамида  $d=6,0$  мм,  $a=45,0$  мм.

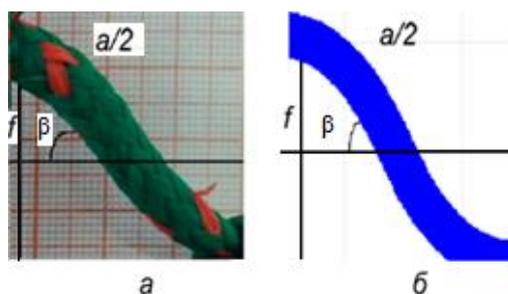


Рисунок 10 – Шаг ячеи из полиэтилена  $d=6,0$  мм,  $a=45,0$  мм при натурном (а) и численном (б) экспериментах

При проведении экспериментов были сопоставлены геометрические характеристики – погрешность не превышает 5 %.

В пятой главе «Моделирование траловых мешков с делью Т0 и Т90» ставится исследовательская задача проблемы проектирования траловых мешков, основанная главным образом на поиске решения их селективности. В ряде случаев траловый мешок, при накоплении в нем улова, меняет свою форму с «цилиндрической» на «грушевидную». При сужении части мешка увеличивается гидродопор. Поля скоростей, возникающие вблизи траловых мешков, влияют на гидродинамическое сопротивление траловой системы, а также на их уловистость и селективность.

Экспериментальные исследования для определения сопротивления траловых мешков с делью Т0 и Т90 были проведены в гидроканале ООО «Фишеринг Сервис».

По чертежам разноглубинного трала 18/95 м были сконструированы два траловых мешка: с делью Т0 и Т90, которые поочередно сажались на металлические обруча разного диаметра ( $D_{об1}=350,0$  мм;  $D_{об2}=540,0$  мм;  $D_{об3}=640,0$  мм) для обеспечения разной посадки и сплошности дели. Характеристики траловых мешков приводятся в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики траловых мешков

№ п/п	Форма ячеи	Материал	$a$ , мм	$d$ , мм	$n_{яч}$ , яч	$m_{яч}$ , яч
1	Т0	Полиамид	8,0	1,0	320	200
2	Т90		8,0	1,0	320	200

На рисунке 11 изображен рабочий участок гидроканала. Видеосъемка тралового мешка с фиксацией его раскрытия, а также раскрытия ячей выполнялась видеокамерой.

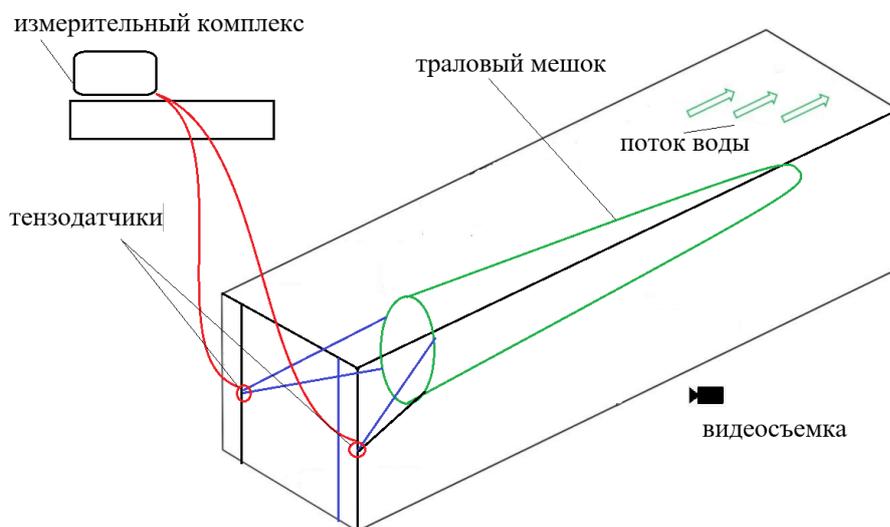


Рисунок 11 – Схема проведения экспериментов с траловыми мешками

Эксперименты с траловыми мешками с делью Т0 и Т90 показали явную зависимость от сплошности и формы ячеи. На рисунке 12 изображены два траловых мешка, которые имеют одинаковую сплошность  $F_0=0,346$  и посажены на один и тот же металлический обруч, диаметр которого  $D_{об}=640,0$  мм.



Рисунок 12 – Фотографии траловых мешков Т90 (а) и Т0 (б),  $D_{об}=640,0$  мм,  $F_0=0,346$

В ходе экспериментов были получены значения гидродинамического коэффициента сопротивления траловых мешков (таблица 5).

Таблица 5 – Значения конструктивных и силовых характеристик траловых мешков

Форма ячеи	$F_0$	Re	$c_x \cdot 10^{-3}$
Т0	0,596	750	3,07
		1125	1,95
		1563	1,28
	0,4	750	3,89
		1125	2,41
		1563	1,63
	0,346	750	4,38
		1125	2,79
		1563	1,94
Т90	0,596	750	2,76
		1125	1,67
		1563	1,08
	0,4	750	3,39
		1125	2,15
		1563	1,53
	0,346	750	4,25
		1125	2,65
		1563	1,88

С целью упрощения зависимости аппроксимации с точки зрения ее вида, а также минимизации ошибки аппроксимации:  $\delta \rightarrow \min$ , где  $\delta$  – ошибка аппроксимаций, принято решение использовать показательную функцию вида:

$$c_x = k_{\phi} F_0 Re^{a_k}, \quad (1)$$

где  $a_k$  – коэффициент аппроксимации.

В таблице 6 приведены значения коэффициентов аппроксимации и величины ее ошибки.

Таблица 6 – Значения коэффициентов аппроксимации и величины ее ошибки для Т0, Т90

Форма ячеи	$F_o$	$k_\phi$	$a_k$	$\delta$ %
Т0	0,596	12,9	-1,1	3,8
				2,9
				-3,4
	0,4	16,4		3,3
				0,2
				2,9
	0,346	19,0		0,7
				0,2
				-0,3
Т90	0,596	11,8	-1,1	1,9
				-3,8
				-1,6
	0,4	14,9		-0,7
				-1,7
				0,5
	0,346	18,4		0,7
				-1,8
				0,2

На основании таблице 8 аппроксимирующая зависимость (1) представлена в виде:

$$c_x = k_{\phi_{T0=7,0}} F_o^{-1} Re^{-1,1}, \quad (2)$$

Где  $k_{\phi_{T0}} = 7,0$  для Т0;  $k_{\phi_{T90}} = 6,4$  для Т90.

На рисунке 13 изображены данные коэффициента  $k_\phi$ , зависящего от  $F_o$ .

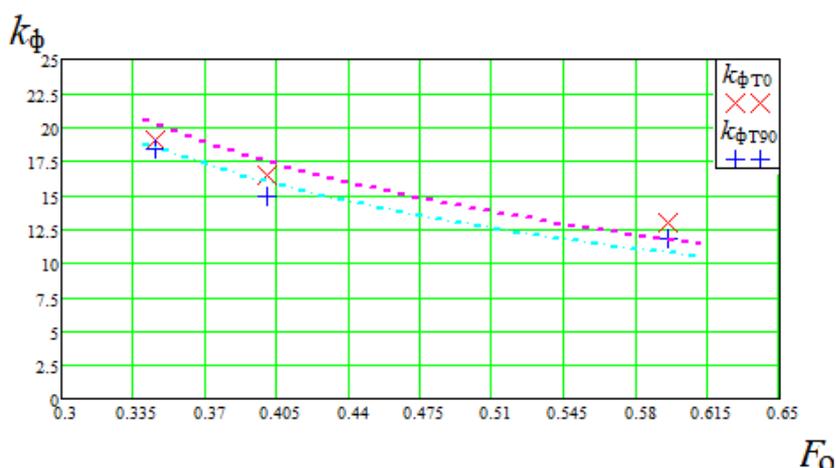


Рисунок 13 – Зависимость  $k_\phi$  от  $F_o$

В результате аппроксимации зависимости получена связь между геометрическими и силовыми параметрами ячеи дели Т0 и Т90, ошибка аппроксимации не превышает 5 %.

Исходя из полученной зависимости (2) сопротивление тралового мешка, изготовленного из дели Т90, меньше на 9 % тралового мешка, изготовленного из дели Т0. Зависимость справедлива для траловых мешков, изготовленных из дели Т0 и Т90, материал полиамид.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной работы является: изучение механики ячеи дели траловых мешков для увеличения селективных качеств орудия рыболовства и снижения его гидродинамического сопротивления.

В процессе работы:

— проведен обзор исследований механики ячеи дели траловых мешков, который показал, что несмотря на разнообразие работ, они обычно не связаны между собой и в большинстве работ рассматриваются простые схематизации элементарной ячеи (без учета изгибной жесткости), которые масштабируются на всю конструкцию тралового мешка, что ведет к неточностям в расчетах и неверному обоснованию его раскрытия. В ходе исследований было выявлено, что степень раскрытия ячеи зависит от длины изделия, механических свойств материала, т. е. жесткости синтетического изделия;

— проведены экспериментальные исследования изгибной жесткости крученых веревок, ниток и шнуров: «геометрический метод» позволил изучить изгибную жесткость по единой методике для большинства изделий.

В ходе обработки экспериментальных данных была определена зависимость изменения физико-механических свойств от изгибной жесткости изделия, позволяющая производить приближенную оценку упругих свойств изделий. На основе полученных зависимостей была разработана математическая модель изгибной жесткости крученых веревок, ниток и шнуров. Изгибная жесткость изменялась в диапазоне: 1) для синтетических веревочно-нитевидных изделий: полиамид – от  $0,08 \cdot 10^{-4}$  до  $1,10 \cdot 10^{-4}$  Нм<sup>2</sup>; полиэфир – от  $0,1 \cdot 10^{-4}$  до  $1,34 \cdot 10^{-4}$  Нм<sup>2</sup>; полипропилен – от  $0,1 \cdot 10^{-4}$  до  $1,08 \cdot 10^{-4}$  Нм<sup>2</sup>; 2) для синтетических шнуров: полиамид – от  $0,1 \cdot 10^{-4}$  до  $1,24 \cdot 10^{-4}$  Нм<sup>2</sup>; полиэфир – от  $0,2 \cdot 10^{-4}$  до  $1,0 \cdot 10^{-4}$  Нм<sup>2</sup>; полипропилен – от  $0,1 \cdot 10^{-4}$  до  $1,7 \cdot 10^{-4}$  Нм<sup>2</sup>.

Анализ полученных данных позволяет достоверно говорить о том, что вид сырья, структура, диаметр и длина самого изделия оказывают значительное влияние на изгибную жесткость;

— разработаны алгоритмы, позволяющие рассчитывать свойства изделий, на основании которых был создан программный продукт, способный прогнозировать физико-механические свойства синтетических шнуров, применяемых в промышленном рыболовстве «Проектирование синтетических шнуров орудий промышленного рыболовства» (Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2023662966). Компьютерная программа позволяет: строить 3D-модель; прогнозировать физико-механические свойства шнуров; выявлять участки потенциального разрушения.

Для проверки работоспособности разработанного программного продукта проведено сопоставление натуральных и численных результатов испытаний с различными образцами синтетических шнуров. При проведении экспериментов были сопоставлены силовые и геометрические характеристики. Анализ результатов испытаний на синтетических шнурах демонстрирует, что погрешность геометрических характеристик не превышает 5 %. Недостатком программного продукта является увеличение погрешности при близких к разрывным нагрузкам и при больших изгибах – вследствие их нелинейной природы;

— проведено исследование элементарной ромбической ячеи, изготовленной из крученых веревок, ниток и шнуров. Предложены две математические модели, описывающие ячею Т90 с учетом изгибной жесткости: 1) построенная на методе непосредственного интегрирования уравнения изгибающих моментов; 2) шаг элементарной ромбической ячеи Т90 представлен как цепная линия. В ходе исследований были разработаны алгоритмы расчета элементарной ромбической ячеи Т90 с учетом изгибной жесткости, на основе которых были созданы программы для расчета и визуализации формы ячеи Т90: «Расчет жесткостных характеристик ячеи Т90 тралового мешка» (Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2024686011 Авторы: Ражев А.О., Недоступ А.А., Коновалова К.В.); «Механика ячеи Т90 тралового мешка» (Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2024686000 Авторы: Ражев А.О., Недоступ А.А., Коновалова К.В.). При сопоставлении расчетных и экспериментальных данных погрешность геометрических характеристик не превышает 5 %;

— проведена серия экспериментов с мешками, изготовленными по чертежам разноглубинного трала для лова ряпушки (*Coregonus albula*) в оз. Виштынецком 18/95 м, в гидроканале ООО «Фишеринг Сервис». Были сконструированы два траловых мешка: с делью Т0, Т90 и разной посадкой. Для каждого был рассчитан гидродинамический коэффициент сопротивления. В результате получена связь между геометрическими и силовыми параметрами ячеи дели Т0 и Т90, ошибка аппроксимации не превышает 5 %. Исходя, из полученной зависимости сопротивление тралового мешка, изготовленного из дели Т90 меньше на 9 % тралового мешка, изготовленного из дели Т0. Эта зависимость справедлива для траловых мешков, изготовленных из дели Т0 и Т90, материал полиамид.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

### *В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:*

1. Производительность сил траловой системы – III: математическое моделирование (часть I) / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, П.В. Насенков, К.В. Коновалова [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2021. – № 4. – С. 63–72.

2. Производительность сил траловой системы – V: предсказательное моделирование / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, П.В. Насенков, К.В. Коновалова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2022. – № 2. – С. 23–33. DOI: 10.24143/2073-5529-2022-2-23-33.

3. Производительность сил траловой системы – IV: математическое моделирование (часть II) / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, П.В. Насенков, К.В. Коновалова [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2022. – № 1. – С. 32–38. DOI: 10.24143/2073-5529-2022-1-32-38.

4. Theory of loading of synthetic fishing materials / A.A. Nedostup, A.O. Razhev, P.V. Nasenkov, K.V. Konovalova [etc.] // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. – 2023. – № 1. – С. 124-136. DOI: 10.24143/2073-5529-2023-1-124-136.

5. Nedostup, A.A. Empirical dependences of the hydrodynamic drag coefficient of cod-ends made of T0 and T90 netting / A.A. Nedostup, K.V. Konovalova // Vestnik of Astrakhan

State Technical University. Series: Fishing Industry. – 2024. – № 3. – С. 79-85. DOI: 10.24143/2073-5529-2024-3-79-85

***Публикации в других изданиях и материалах конференций:***

6. Коновалова, К.В. Прогнозирование изгибной и поперечной жесткостей рыболовных крученых изделий / К.В. Коновалова // В сборнике: Балтийский морской форум. материалы VIII Международного Балтийского морского форума: в 6 т.– Калининград, 2020. – С. 218–228.

7. Коновалова, К.В. Проектирование синтетических шнуров, обслуживание и эксплуатация / К.В. Коновалова, А.А. Недоступ, А.О. Ражев // В сборнике: Балтийский морской форум. материалы IX Международного Балтийского морского форума: в 6 т. – Калининград, 2021. – С. 338–342.

8. Недоступ, А.А. 3D-Моделирование траловых мешков (без улова) / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, К.В. Коновалова // Материалы Международной научно-практической конференции «Водные биоресурсы: рациональное освоение и искусственное воспроизводство». – Владивосток, 2021. – С. 58–64.

9. Производительность сил траловой системы – VI: математическое моделирование (часть III) / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, П.В. Насенков, К.В. Коновалова [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2022. – № 4. – С. 82–89.

10. Производительность продольных сил (сил натяжения) канатных связей траловых конструкций / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, П.В. Насенков, К.В. Коновалова [и др.] // В сборнике: Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана. Материалы VII Международной научно-технической конференции. – Владивосток, 2022. – С. 169–173.

11. Коновалова, К.В. Определение изгибной жесткости синтетических шнуров /К.В. Коновалова // В сборнике: VIII Международная конференция «Проблемы механики современных машин», проведенной в Восточно-Сибирском государственном университете технологий и управления (оз. Байкал), 4-9 июля 2022 г. – Улан-Удэ, 2022. – С. 477–480.

12. Критерии подобия физического моделирования процесса гидродпора в траловых мешках при различных жесткостных характеристиках дели / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, К.В. Коновалова, П.В. Насенков // Материалы V Национальной научно-технической конференции «Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации». – Владивосток, 2022. – С. 74–79.

13. Механика канатно-веревочных и нитевидных изделий / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, П.В. Насенков, К.В. Коновалова // В сборнике: VIII Международная конференция проблемы механики современных машин, проведенной в Восточно-Сибирском государственном университете технологий и управления (оз. Байкал), 04–09 июля 2022 года. – Улан-Удэ, 2022. – С. 521–527.

14. Алгоритм расчета физико-механических свойств канатно-веревочных изделий и плетеных шнуров / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, П.В. Насенков, К.В. Коновалова [и др.] // В сборнике: Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование. Материалы XIII Национальной (всероссийской) научно-практической конференции / Отв. за вып. Т.А. Ключкова. – Петропавловск-Камчатский, 2022. – С. 106–109.

15. Коновалова, К.В. Экспериментальные исследования формоизменяемости элементарной ячеи / К.В. Коновалова, А.А. Недоступ // В сборнике: Балтийский морской форум. материалы X Международного Балтийского морского форума: в 7 т. – Калининград, 2022. – С. 241–244.

16. Недоступ, А.А. Численное решение задачи определения конструктивных, геометрических и силовых характеристик элементарной ячеи / А.А. Недоступ, К.В. Коновалова, В.А. Наумов // В сборнике: Балтийский морской форум. материалы X Международного Балтийского морского форума: в 7 т. – Калининград, 2022. – С. 245–249.

17. Программное обеспечение для определения физико-механических свойств синтетических рыболовных материалов / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, П.В. Насенков, К.В. Коновалова // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2023. – Т. 65, № 3. – С. 91–102.

18. Коновалова, К.В. Создание и функциональные испытания программного продукта для проектирования синтетических шнуров орудий промышленного рыболовства / К.В. Коновалова, А.А. Недоступ, А.О. Ражев // В сборнике: Балтийский

морской форум. Материалы XI Международного Балтийского морского форума: в 8 т. – Калининград, 2023. – С. 246–253.

19. Коновалова, К. В. Аналитический расчет элементарной ромбической ячеи / К.В. Коновалова // В сборнике: Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли. Материалы VIII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Владивосток, 2023. – С. 143–149.

20. Коновалова, К.В. Механика ячеи Т90 тралового мешка / К.В. Коновалова, А.А. Недоступ, А.О. Ражев // Морские интеллектуальные технологии. – 2025. – № 1. – С. 238–243.

#### **Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ:**

1. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023662966, 16.06.2023. Заявка № 2023660659 «Проектирование синтетических шнуров орудий промышленного рыболовства». Авторы: Коновалова К.В.;

2. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024686601, 31.11.2024. Заявка № 2024686011 «Расчет жесткостных характеристик ячеи Т90 тралового мешка». Авторы: Ражев А.О., Недоступ А.А., Коновалова К.В.;

3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024686472, 31.11.2024. Заявка № 2024686000 «Механика ячеи Т90 тралового мешка». Авторы: Ражев А.О., Недоступ А.А., Коновалова К.В.

#### **Научные монографии:**

Недоступ, А.А. Мультифизическое подобие технических средств рыболовства и рыбоводства: монография / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, П.В. Насенков, К.В. Коновалова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 177 с.

Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «КГТУ». 236022, Калининград, Советский проспект, 1 Подписано в печать \_\_.\_\_.2025г. Тираж \_\_ экз. Заказ №