

На правах рукописи



НАСЕНКОВ ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЫВНОЙ НАГРУЗКИ И ОТНОСИТЕЛЬНОГО
УДЛИНЕНИЯ РЫБОЛОВНЫХ КРУЧЕНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

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:

Проценко Игорь Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных систем, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Камчатский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»).

Татарников Вячеслав Александрович - кандидат технических наук, руководитель департамента промышленного рыболовства и инструментальных методов исследования, Государственного научного центра Российской Федерации Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»).

Ведущая организация:

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

Защита диссертации состоится «28» мая 2025 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета 37.2.007.04 на базе ФГБОУ ВО «КГТУ» по адресу г. Калининград, ул. Профессора Баранова, д. 43, зал заседаний диссертационных советов (ауд. 101).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «КГТУ» по адресу: https://klgtu.ru/upload/dissertations/nasenkov/nasenkov_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

Автореферат разослан «__»_____2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 37.2.007.04
доктор технических наук, доцент



Агеев Олег Вячеславович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования состоит в исследовании физико-механических свойств рыболовных нитевидных крученых материалов, которые задаются проектировщиком при моделировании и проектировании орудий промышленного рыболовства. Разрывная нагрузка является важной и основной характеристикой рыболовных материалов с точки зрения прочности и безаварийности орудий рыболовства. Относительное удлинение крученых рыболовных материалов влияет на форму орудия рыболовства. Отсутствие явных зависимостей разрывной нагрузки и относительного удлинения не дает проектировщику моделировать орудие рыболовства в процессе их эксплуатации. Анализ исследований, направленных на изучение разрывной нагрузки и относительного удлинения, показал, что в большинстве работ применяется справочная информация от производителя, при условии получения данных по стандартным методикам, что не обеспечивает полную картину изменения физико-механических свойств.

Степень разработанности темы исследования. Исследованиями по определению разрывной нагрузки и относительного удлинения рыболовных крученых материалов занимались как отечественные ученые: Д.Г. Житков, А.В. Засосов, М.Н. Пахнов, Е.Н. Мамцев, Л.М. Крамский, В.Д. Кулагин, так и зарубежные: G. Klust (Германия), ряд китайских ученых из Академии рыбохозяйственных наук, в том числе доктор технических наук Pengzhu Wang из технического центра «BridonInternational», группа ученых из Омана и США Н. Al-Oufi, E. McLean, A.S. Kumar, M. Claereboudt, M. Al-Nabsi. Указанные работы были направлены на определение физико-механических свойств рыболовных нитевидных материалов конкретного производства, для конкретных целей их применения и не сравнивались значения с другими материала.

Цели и задачи. Целью исследования является исследование разрывной нагрузки и относительного удлинения рыболовных нитевидных крученых материалов.

В соответствии с целью исследования в работе поставлены следующие задачи:

- разработать комплексную методику определения разрывной нагрузки и относительного удлинения рыболовных нитевидных крученых материалов;
- провести испытания рыболовных нитевидных крученых материалов на современном разрывном оборудовании;
- провести статистическую обработку проведенных исследований;
- разработать математические модели для расчета разрывной нагрузки и относительного удлинения рыболовных нитевидных крученых материалов;
- разработать алгоритм расчета разрывной нагрузки и относительного удлинения.

Научная новизна работы. В работе впервые:

- предложены и реализованы новые методы многофункционального управления режимами проведения экспериментов, получения и обработки данных, позволяющих строить диаграммы разрывной нагрузки и относительного удлинения, на основе которых по специальным методикам определяется комплекс физико-механических свойств нитевидных материалов;

- разработана методика определения разрывной нагрузки и относительного удлинения рыболовных крученых материалов с разной длиной образцов, в сухом и мокром виде;
- разработаны математические зависимости разрывной нагрузки и относительного удлинения;
- разработан алгоритм определения разрывной нагрузки и относительного удлинения.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы состоит в выявлении новых взаимосвязей разрывной нагрузки и относительного удлинения от материала.

Практическая значимость работы состоит в возможности использования зависимости определения разрывной нагрузки и относительного удлинения на этапе проектирования рыболовных нитевидных крученых материалов.

Методология и методы исследования. Для достижения поставленной цели применялись:

- методы проведения экспериментов на разрывных машинах;
- экспериментальные исследования натурных рыболовных нитевидных крученых материалов;
- современные системы и методы математической обработки данных.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработка комплексной методики определения разрывной нагрузки и относительного удлинения рыболовных нитевидных крученых материалов.
2. Результаты экспериментальных исследований рыболовных нитевидных крученых материалов с использованием разработанной методики.
3. Вывод математических зависимостей разрывной нагрузки и относительного удлинения рыболовных нитевидных крученых материалов.
4. Разработка алгоритма расчета разрывной нагрузки и относительного удлинения рыболовных нитевидных крученых материалов.

Степень достоверности и апробации результатов. Достоверность результатов исследования подтверждается обоснованной схемой исследования, значительным объемом экспериментальных данных, статистической обработкой и воспроизводимостью экспериментальных данных.

В процессе обработки результатов экспериментальных исследований использовалось программное обеспечение разрывной машины Shimadzu Autograph AGS-X10. Выполнение обработки статистических данных и математическое моделирование выполнялось с использованием ПО MathCad.

Основные результаты и положения диссертации ежегодно докладывались на расширенных заседаниях кафедры промышленного рыболовства, а также представлялись на международных и национальных конференциях, как в очной, так и заочной форме.

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 нагрузках и больших формоизменениях траловых конструкций», ГБ НИР КГТУ № 03/2024 «Разработка физических, математических и предсказательных моделей процессов эксплуатации донного и разноглубинного траловых комплексов» и РНФ 25-21-00008 «Физическое, математическое и компьютерное моделирование сетных инженерных конструкций с учетом внешних факторов воздействия».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 27 печатных работ, в том числе 6 – в изданиях из перечня Российских рецензируемых научных журналов ВАК Минобрнауки России, 1 – в перечне Web of Science и 1 монография в соавторстве.

Личное участие автора. В 2017–2024 гг. автором сформулированы цели и задачи исследования, разработана методика определения разрывной нагрузки и относительного удлинения рыболовных нитевидных крученых материалов при различной их длине как в сухом, так и мокром виде проведены экспериментальные исследования на высокоточном и современном оборудовании, обработаны и проанализированы полученные экспериментальные данные, подготовлены соответствующие научные материалы для научно-технических конференций и публикации в научных трудах и журналах. Разработаны зависимости расчета разрывной нагрузки и относительного удлинения. Разработан алгоритм определения разрывной нагрузки и относительного удлинения рыболовных нитевидных материалов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем работы составляет 153 страниц машинописного текста, 44 рисунка, 20 таблиц, 3 приложения. Список использованных источников состоит из 82 наименований, из которых 7 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. Методы определения разрывной нагрузки и относительного удлинения рыболовных крученых материалов изучались как отечественными учеными: Д.Г. Житковым, А.В. Засосовым, М.Н. Пахновым, Е.Н. Мамцевым, Л.М. Крамским, В.Д. Кулагиным, так и зарубежными: G. Klust (Германия), ряд китайских ученых из Академии рыбохозяйственных наук, в том числе доктор технических наук PengzhuWang из технического центра «Bridon International».

В связи с активным развитием химической промышленности с середины прошлого века развитие создания новых рыболовных материалов стало набирать большой оборот, что привело к отсутствию нормативных документов, обуславливающих не только

контроль качества изготовленных рыболовных материалов, но и отслеживание их основных физико-механических свойств, напрямую влияющих на работоспособность конструкций орудий промышленного рыболовства и, как следствие, их уловистость.

В первой главе «Обзор исследований прочностных характеристик рыболовных нитевидных изделий» приведен обзор исследований прочностных характеристик нитевидных изделий. Выполнен аналитический обзор научных работ по исследованию определения разрывной нагрузки и относительного удлинения рыболовных крученых материалов. Представлена проблема определения запаса прочности, а также сформулированы задачи данной работы.

Во второй главе «Обзор методов и методик определения разрывного усилия и относительного удлинения рыболовных крученых материалов» приведен обзор методов и методик определения разрывного усилия и относительного удлинения рыболовных крученых материалов. Представлен обзор разрывных машин для определения разрывного усилия и относительного удлинения. Исследования на разрывных машинах становятся эффективным инструментом в решении многообразных проблем деформации и разрушения, прогноза надежности и ресурса рыболовных материалов, работающих в условиях износа, усталости, динамических и ударных нагрузок, температур и хрупкого разрушения широкого круга материалов, используемых при конструировании орудий промышленного рыболовства.

В третьей главе «Обзор крученых рыболовных материалов, используемых в конструкциях орудий промышленного рыболовства» приведен обзор крученых рыболовных материалов, используемых в конструкциях орудий промышленного рыболовства. Представлены общие сведения о нитевидных рыболовных материалах.

Четвертая глава «Экспериментальные исследования разрывного усилия и относительного удлинения рыболовных канатно-веревочных изделий» посвящена экспериментальным исследованиям разрывного усилия и относительного удлинения рыболовных канатно-веревочных изделий. Эксперименты были проведены на разрывных машинах Shimadzu Autograph AGS-X10 настольного типа с программным обеспечением.

Данные машины позволили провести серии испытаний выбранного материала по стандартным методикам определения прочностных характеристик, но с различными длинами образцов и различными скоростями разрыва, в сухом и мокром виде.

Для проведения исследований были выбраны следующие образцы материалов:

- полиамид (ПА 187 Текс) диаметрами (d): 1,1; 2,0; 3,1 мм;
- полипропилен (ПП 187 Текс) диаметрами (d): 1,1; 2,0; 3,1; 4,0 мм;
- полиэфир (ПЭФ 93,5 Текс) диаметрами (d): 1,1; 2,0; 3,1; 4,0 мм.

Выбор данных материалов обусловлен частым их использованием при постройки сетной и канатно-сетной части современных орудий промышленного рыболовства. Образцы ПА использовались диаметрами 1,1; 2,0 и 3,1 мм, по причине ограниченности рабочего участка разрывной машины, который оказался меньше относительного удлинение данного материала.

Отбор и подготовка материала проводились по стандартной методике согласно ГОСТ 6611.2-73. Были определены фактические диаметры образцов при помощи измерительного микроскопа с ценой деления 0,01 мм, а также линейная плотность с использованием мерного приспособления с линейкой и креплением для груза, применяемого для предварительного натяжения, и лабораторных весов с погрешностью не более 0,5 % от взвешиваемой массы.

Все образцы перед началом испытаний были выдержаны сутки в расправленном виде в помещении лаборатории, для разглаживания и принятия исходной структуры. Испытания для определения разрывной нагрузки и удлинения как в сухом, так и в мокром виде проводились в соответствии с ГОСТ 6611.2-73 с дополнениями.

Испытания проводились при различных скоростях движения подвижной траверсы разрывной машины (V): 10, 50 и 100 см/мин. Расстояние между улиточными креплениями, применяемыми для испытаний нитевидных материалов, составляло 100, 175 и 250 мм, что соответственно и составляло длину испытываемого образца (L). Данный вид параметров необходим для более детального исследования поведения физико-механических свойств нитевидных материалов, используемых в сетных и канатно-сетных элементах конструкций орудий промышленного рыболовства.

Результаты испытаний для ПП с диаметром 1,1 мм представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты проведенных испытаний

d , мм	L , мм	V , см/мин	Разрывная нагрузка P , Н	Относительное удлинение ε , %	d , мм	L , мм	V , см/мин	Разрывная нагрузка P , Н	Относительное удлинение ε , %
ПП 187 Текс (в сухом виде)					ПП 187 Текс (в мокром виде)				
1,1	100	10	300,8	64,3	1,1	100	10	328,6	62,7
	100	50	309,6	65,9		100	50	341,4	62,4
	100	100	315,6	64,7		100	100	346,9	65,1
	175	10	302,2	46,6		175	10	330,8	49,8
	175	50	304,9	45,1		175	50	340,7	48,4
	175	100	312,5	45,9		175	100	345,5	47,7
	250	10	294,5	38		250	10	326,6	41,5
	250	50	305,4	39		250	50	338,5	41,2
	250	100	307,6	38,6		250	100	343,3	40,3

Результаты проведенных экспериментов позволяют утверждать, что у всех трех материалов, в независимости от их диаметра, относительное удлинение уменьшается с увеличением длины испытываемого образца. Разница в разрывной нагрузке у сухих и мокрых материалов имеет незначительные изменения.

По каждому испытанию при помощи компьютерного обеспечения разрывной машины были построены графические зависимости с детальным процессом испытания (рисунок 1), а также был проведен расчет среднеквадратичного отклонения по каждой серии испытаний, который не превышал 10 %.

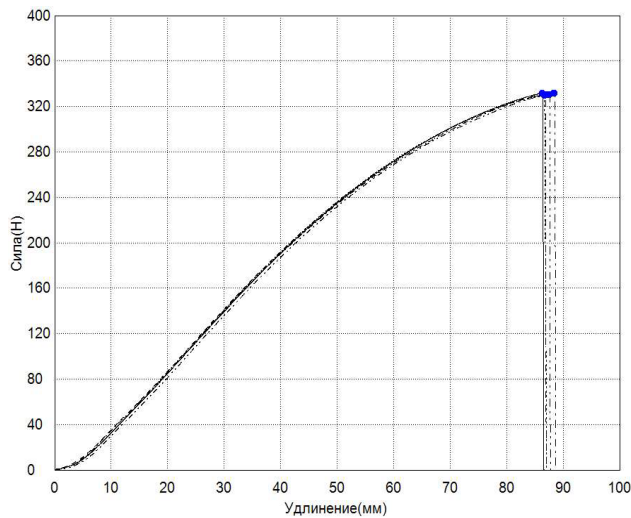


Рисунок 1 – Зависимость разрывного усилия от абсолютного удлинения ПП 187 Текс $d = 1,1$ мм (в мокром виде), длина 175 мм, скорость 10 см/мин

Оценка точности проводимых испытаний соответствует точности измерения усилия разрывной машины при высокоточном типе в пределах $\pm 0,5$ % от значения силы номинальной мощности нагрузки (согласно паспортным данным разрывной машины Shimadzu Autografh AGS-X10). Калибровка усилия проводилась перед каждым испытанием в автоматическом режиме.

В изучении физико-механических свойств рыболовных нитевидных материалов при изменении линейных размеров под влиянием различных нагрузок важную роль можно отнести к коэффициенту Пуассона.

Коэффициент Пуассона имеет зависимость от материала изотропного тела и является одной из важных постоянных, характеризующих его упругие свойства. Он представляет собой физическую характеристику материала упругого тела, равную отношению абсолютных значений относительной поперечной деформации элемента тела к его относительной продольной деформации.

На примере анизотропных материалов, к которым относятся рыболовные нитевидные изделия, был проведен краткий анализ изменений коэффициента Пуассона с различной прилагаемой нагрузкой на материал.

В лаборатории экспертизы рыболовных материалов, на кафедре промышленного рыболовства ФГБОУ ВО "Калининградский государственный технический университет", были проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента Пуассона таких рыболовных нитевидных материалов, как полиамид следующих диаметров: 0,39; 0,54; 0,78; 1,1 и 2,1 мм.

Проведенные исследования позволили с большой долей вероятности утверждать, что анизотропные материалы, такие как рыболовные нитевидные материалы, не имеют одного постоянного значения коэффициента Пуассона при различных моментах нагружения. Однако при достижении определенного процентного соотношения разрывной нагрузки материала к прилагаемой нагрузке данный коэффициент получит равное значение в пределах минимального значения.

В пятой главе «Статистическая обработка экспериментальных исследований» приведена статистическая обработка экспериментальных исследований разрывного усилия и относительного удлинения. Результаты проведенных испытаний были статистически обработаны с применением модифицированных программ из учебного пособия по решению профессиональных задач в среде MathCad. Для каждого материала с разными диаметрами как в сухом, так и в мокром виде были рассчитаны матрицы парной корреляции (таблицы 2, 3).

Таблица 2 – Матрица парной корреляции результатов испытаний (ПП 187 Текс в сухом виде)

№ п/п	Фактор	1	2	3	4	5
		P	$\mathcal{E}$	d	L	V
1	P	1	0,414	0,979	–0,012	0,024
2	$\mathcal{E}$	0,414	1	0,414	–0,825	–0,109
3	d	0,979	0,414	1	0	0
4	L	–0,012	–0,825	0	1	0
5	V	–0,024	–0,109	0	0	1

Таблица 3 – Матрица парной корреляции результатов испытаний (ПП 187 Текс в мокром виде)

№ п/п	Фактор	1	2	3	4	5
		P	$\mathcal{E}$	d	L	V
1	P	1	0,336	0,985	–0,011	0,002
2	$\mathcal{E}$	0,336	1	0,34	–0,845	0,15
3	d	0,985	0,34	1	0	0
4	L	–0,011	–0,845	0	1	0
5	V	0,002	0,15	0	0	1

В исследованном диапазоне аргументов разрывное усилие P зависит от одного аргумента – d . Найдем уравнение регрессии $P=\varphi(d)$. Уравнения степенной регрессии 1-го, 2-го и 3-го порядка имеют вид:

$$\varphi_1(d) = a_{10} + a_{11}d, \quad (1)$$

$$\varphi_2(d) = a_{20} + a_{21}d + a_{22}d^2, \quad (2)$$

$$\varphi_3(d) = a_{30} + a_{31}d + a_{32}d^2 + a_{33}d^3. \quad (3)$$

В качестве регрессионной зависимости использовалась показательная функция:

$$\varphi_e(d) = A \cdot d^\gamma, \quad (4)$$

где a_{ij} , A , γ – эмпирические коэффициенты, которые определяются методом наименьших квадратов для заданных условий испытаний.

Формулы (1)-(4) справедливы для диапазонов физических параметров и величин, в которых проводились эксперименты. При этом коэффициенты a_{ij} , A , γ не указывают явно анизотропность материала, его вес и не характеризуют материал волокна. Таким образом, воспользоваться данными формулами возможно только для заданных условий испытаний, которые были выполнены.

На рисунке 2 результаты расчетов по формулам (1)-(4) сравниваются с экспериментальными данными. Видно, что линейная аппроксимация (1) хорошо согласуется с данными испытаний при $d > 1$ мм. При $d \leq 1$ мм зависимостью (4) пользоваться нельзя, так как не выполняется фундаментальное требование: если диаметр стремится к нулю, то и разрывная нагрузка должна стремиться к нулю.

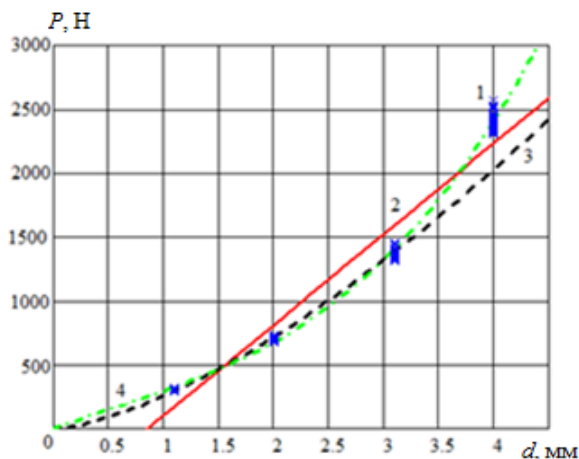


Рисунок 2 – Зависимость разрывного усилия от диаметра ПП 187 Текс в сухом виде:

1 – экспериментальные точки; 2 – результат расчета по формуле (1); 3 – результат расчета по (3); 4 – результат расчета по (4)

Рассчитаем значения индекса детерминации и поместим их в таблицу 4. В исследованном диапазоне d самое большое значение R^2 у зависимости (3). Однако, при увеличении диаметра более 3 мм, в соответствии с физическим смыслом изменения разрывной нагрузки от диаметра, ведет себя зависимость (4), а (3) имеет точку перегиба. Поэтому в дальнейшем, в качестве регрессионной зависимости, будем использовать показательную функцию (4).

Таблица 4 – Значения индекса детерминации R^2 (разрывное усилие)

№ п/п	Материал (условия)	Регрессионная зависимость			
		формула (1)	формула (2)	формула (3)	формула (4)
1	ПП 187 Текс (в сухом виде)	0,958	0,992	0,997	0,990
2	ПП 187 Текс (в мокром виде)	0,970	0,996	0,998	0,994

На рисунке 3 представлены графики регрессионных зависимостей (4) для сухих и мокрых образцов ПП. По построенным границам доверительных интервалов случайной функции видно, что отличие линии 2 от 1 не столь значительно, чтобы выйти за границу доверительного интервала.

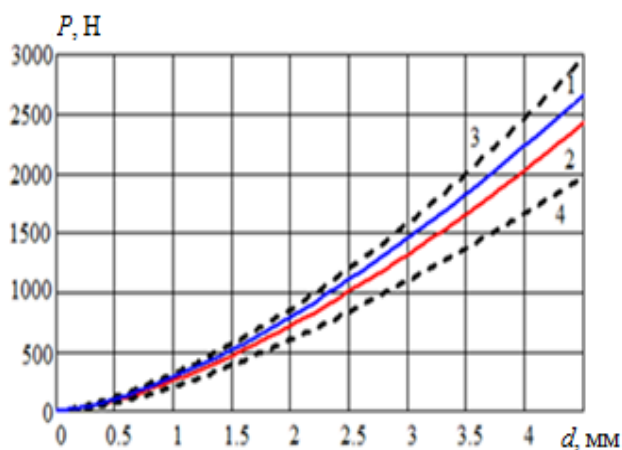


Рисунок 3 – Зависимость разрывного усилия от диаметра ПП 187 Текс:

1 – в сухом виде; 2 – в мокром виде; 3, 4 – границы доверительных интервалов случайной функции (4)

Найдем уравнение степенной регрессии k -го порядка: $\varepsilon = f_k(L, d)$. В таблицу 5 внесены значения индекса детерминации. Достаточно использовать многочлен 2-го порядка.

Таблица 5 – Значения индекса детерминации R^2 (относительное удлинение)

№ п/п	Материал (условия)	Порядок уравнения регрессии			
		формула (1)	формула (2)	формула (3)	формула (4)
1	ПП 187 Текс (в сухом виде)	0,852	0,915	0,959	0,961
2	ПП 187 Текс (в мокром виде)	0,830	0,907	0,942	0,945

На рисунке 4-5 видно, что с увеличением длины образцов во всех случаях относительное удлинение падает, зависимость же относительного удлинения от диаметра – имеет возрастающий вид.

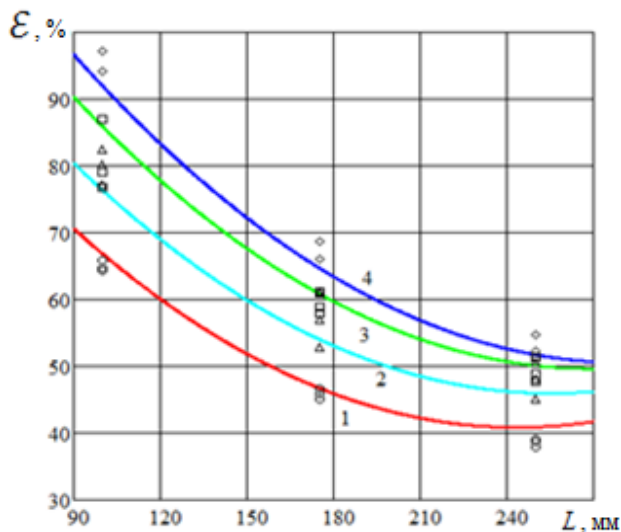


Рисунок 4 – Зависимость относительного удлинения ПП 187 Текс (в сухом виде) от L при различных d : 1 – $d = 1,1$ мм; 2 – $d = 2,0$ мм; 3 – $d = 3,1$ мм. Точки – экспериментальные данные

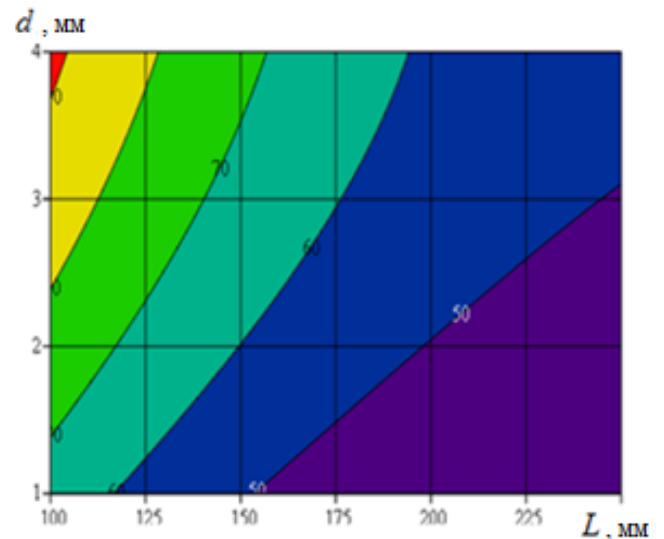


Рисунок 5 – Зависимость относительного удлинения ПП 187 Текс (в сухом виде) от L и d

Аналогичная зависимость была выявлена и с остальными исследуемыми материалами.

Точность аппроксимации проведенных исследований составляет не менее 95%.

Шестая глава «Математическое моделирование разрывной нагрузки и относительного удлинения» отображает разработку математических моделей на основании полученных экспериментальных данных (см. таблицу 1) и расчетных данных, представленных таблице 6 для ПП в сухом виде.

Таблица 6 – Расчетные данные для ПП в сухом виде

d , мм	d_B , мм	n , шт	L , мм	F_0	S 10^{-6} м ²	m 10^{-3} кг	p 10^{-3} Н	λ	σ 10^8 Н/м ² (Па)	a 10^4	α 10^{-6}	E 10^8 Н/м ² (Па)	ν 10^{-3}	χ 10^6 Н/м ² (Па)	k_λ	k_α 10^{-4}	k 10^4	c_1
ПП 187 Текс																		
1,1		737	100	0,113	0,95	0,05	0,49	90,1	3,16	7,3		1,6	4,92	7,07	3,48	5,9	7,82	9,26
			100						3,25			1,5	4,94	7,24	3,58			
			100						3,32			1,5	5,13	7,11	3,65			
			175						3,18			2,9	6,82	2,92	1,99			
			175			0,09	0,88	159,1	3,20			2,8	7,11	2,83	2,01			
			175						3,28			2,8	7,16	2,88	2,06			
			250						3,09			3,9	8,15	1,67	1,36			
			250						3,21			3,8	8,24	1,71	1,41			
			250			0,12	1,17	227,3	3,23			3,8	8,38	1,69	1,42			
			250						3,23			3,8	8,38	1,69	1,42			
2,0		2214	100	0,093	3,14	0,17	1,66	50	2,17	4,9		2,4	2,51	17	4,35	5,6	12,15	8,42
			100						2,28			2,3	2,88	16	4,55			
			100						2,32			2,2	3,03	15	4,64			
			175						2,21			4,0	3,63	6,98	2,53			
			175			0,29	2,84	87,5	2,25			4,0	3,83	6,72	2,57			
			175						2,30			3,9	3,97	6,62	2,63			
			250						2,16			5,7	4,21	4,10	1,72			
			250						2,21			5,6	4,53	3,90	1,76			
			250			0,40	3,92	125	2,21			5,4	4,78	3,81	1,82			
			250						2,28			5,4	4,78	3,81	1,82			
3,1		3715	100	0,065	7,54	0,32	3,13	32,25	1,77	5,7		2,3	2,15	25,54	5,50	4,2	11,32	5,9
			100						1,86			2,2	2,33	24,86	5,79			
			100						1,91			2,1	2,48	23,9	5,94			
			175						1,78			3,9	2,93	10,79	3,16			
			175			0,55	5,39	56,45	1,87			3,8	3,28	10,08	3,31			
			175						1,88			3,7	3,57	9,37	3,34			
			250						1,74			5,8	3,43	6,27	2,15			
			250						1,82			5,5	3,78	5,96	2,25			
			250			0,78	7,64	80,64	1,87			5,4	4,15	5,59	2,32			
			250						1,87			5,4	4,15	5,59	2,32			
4,0		7812	100	0,082	12,57	0,66	6,47	25	1,88	3,7		2,7	1,93	38,88	7,53	4,4	14,21	7,4
			100						1,91			2,6	2,03	37,64	7,66			
			100						1,99			2,5	2,12	37,64	7,98			
			175						1,89			4,5	2,76	15,68	4,34			
			175			1,10	10,78	43,75	1,95			4,3	2,96	15,09	4,47			
			175						1,89			4,5	3,09	13,99	4,32			
			250						1,89			6,3	3,46	8,76	3,03			
			250						1,90			6,3	3,63	8,35	3,04			
			250			1,55	15,19	62,5	1,89			6,3	3,70	8,17	3,03			
			250						1,89			6,3	3,70	8,17	3,03			

Здесь: d_B – диаметр волокна нити; n – количество волокон; F_0 – сплошность нити, характеризующая анизотропность материала:

$$F_0 = \frac{n \frac{\pi d_e^2}{4}}{\frac{\pi d^2}{4}}; \quad (5)$$

S – площадь сечения нити:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}; \quad (6)$$

m – масса нити; p – вес нити:

$$p = mg; \quad (7)$$

λ – конструктивное удлинение:

$$\lambda = \frac{L}{d}; \quad (8)$$

σ – напряжение при разрыве:

$$\sigma = \frac{P_p}{S}; \quad (9)$$

a – параметр нити:

$$a = \frac{k_\lambda}{k_\alpha F_0}; \quad (10)$$

α – отношение веса нити к разрывной прочности в момент разрыва:

$$\alpha = \frac{p}{P_p}; \quad (11)$$

E – модуль состояния нити в момент разрыва:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_p}; \quad (12)$$

ν – отношение относительного удлинения в момент разрыва к конструктивному удлинению нити:

$$\nu = \frac{\varepsilon_p}{\lambda}; \quad (13)$$

χ – отношение напряжения при разрыве к конструктивному удлинению нити:

$$\chi = \frac{\sigma}{\lambda}; \quad (14)$$

k – коэффициент:

$$k = c_1 F_0, \quad (15)$$

где: c_1 – коэффициент, зависящий от материала нитки.

На основании экспериментальных и расчетных данных построены графики аппроксимирующих зависимостей $\mathcal{E}=f(\alpha)$ (рисунок 6) и $\mathcal{E}=f(\lambda)$ (рисунок 7) для ПП. Аппроксимация была проведена методом наименьших квадратов.

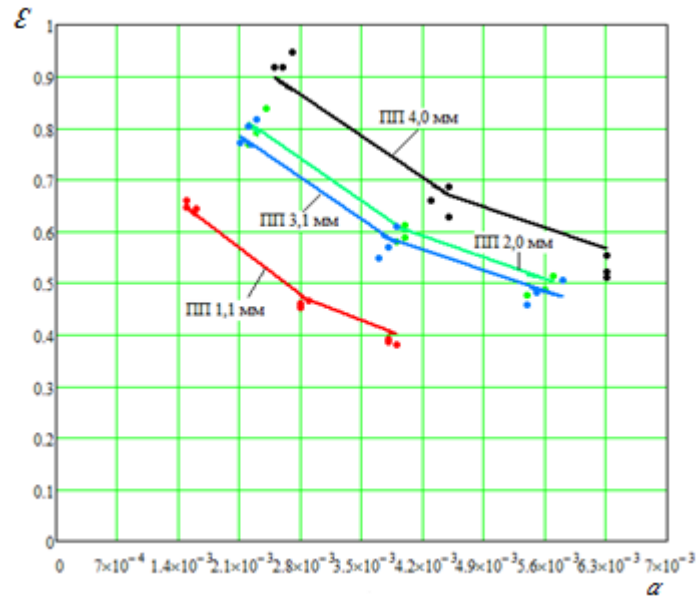


Рисунок 6 – График аппроксимирующей зависимости относительного удлинения от отношения веса рыболовных нитевидных крученых материалов к разрывной прочности (ПП)

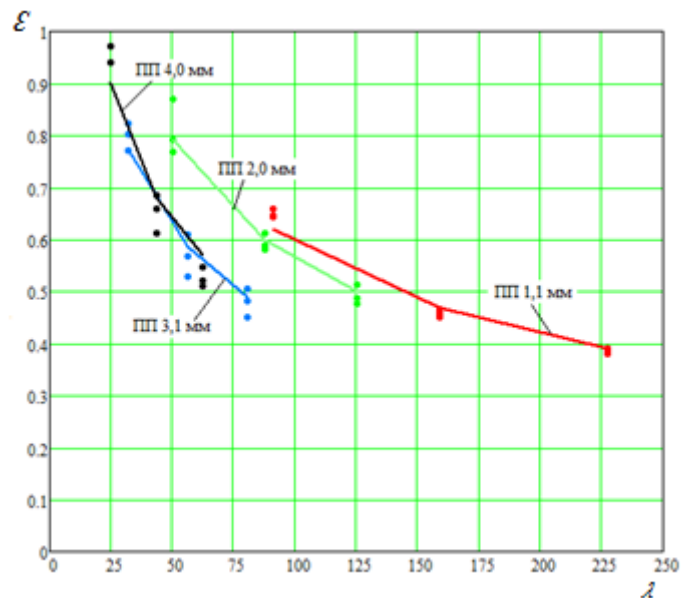


Рисунок 7 – График аппроксимирующей зависимости относительного удлинения от конструктивного удлинения (ПП)

Ошибка аппроксимирующих зависимостей составляет не более 7%.

Проведен вывод математических зависимостей для расчета в момент разрыва относительного удлинения и разрывной нагрузки рыболовных нитевидных крученых материалов, изготовленных из ПА, ПП и ПЭФ.

Относительное удлинения можно представить расчетным значением (16) и (17):

$$\varepsilon = k_{\lambda} \left(\frac{L}{d} \right)^{-1/2} = k_{\lambda} \lambda^{-1/2}, \quad (16)$$

где: k_λ – коэффициент, зависящий от вида материала, диаметра и сплошности.

$$\varepsilon = k_\alpha \left(\frac{p}{P} \right)^{-1/2} = k_\alpha \alpha^{-1/2}, \quad (17)$$

где: k_α – коэффициент, зависящий от вида материала, диаметра и сплошности.

Приравняем (16) и (17)

$$k_\lambda \lambda^{-1/2} = k_\alpha \alpha^{-1/2} \quad (18)$$

или

$$\frac{k_\lambda}{k_\alpha} = \left(\frac{\alpha}{\lambda} \right)^{-\frac{1}{2}} = \left(\frac{pd}{PL} \right)^{-\frac{1}{2}}. \quad (19)$$

Умножим в скобках верхнюю и нижнюю части выражения на отношение $\pi d/4$, получим

$$\frac{pd \left(\frac{\pi d}{4} \right)}{PL \left(\frac{\pi d}{4} \right)} = \frac{pS}{PL \left(\frac{\pi d}{4} \right)},$$

при условии, что напряжение $\sigma = P/S$, длина окружности нитки $l_{окр} = \pi d$ и площадь поверхности нитки $S_{нов} = L l_{окр}$, получим

$$\frac{pS}{PL \left(\frac{\pi d}{4} \right)} = \frac{4p}{\sigma L \pi d} = \frac{4p}{\sigma S_{нов}} = \frac{4\sigma_{нов}}{\sigma},$$

где: $\sigma_{нов} = p/S_{нов}$ – напряжение поверхности нити.

Тогда выражение (19) представим в виде

$$\frac{k_\lambda}{k_\alpha} = \left(\frac{4\sigma_{нов}}{\sigma} \right)^{-\frac{1}{2}} = 0,5 \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_{нов}}}. \quad (20)$$

Представим коэффициенты k_λ и k_α , зависящими от сплошности нитки F_0

$$\begin{cases} \frac{k_\lambda}{k_\alpha} = aF_0 \\ \frac{k_\lambda}{k_\alpha} = 0,5 \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_{нов}}} \end{cases} \quad (21)$$

Приравняем отношения k_λ и k_α

$$aF_0 = 0,5 \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_{нов}}},$$

или

$$a^2 F_0^2 = 0,25 \left(\frac{\sigma}{\sigma_{нов}} \right). \quad (22)$$

Из (22) получим:

$$\sigma = 4a^2 F_0^2 \sigma_{нов}. \quad (23)$$

Введем коэффициент α_1 :

$$a_1 = 4a^2, \quad (24)$$

тогда выражение (23) представим в виде:

$$\sigma = a_1 F_0^2 \sigma_{нов}. \quad (25)$$

Так как $\sigma = P/S$, то выражение (25) представим в виде:

$$P = a_1 F_0^2 S \sigma_{нов} = a_1 F_0^2 S \frac{P}{S_{нов}} = a_1 F_0^2 p \frac{S}{S_{нов}}, \quad (26)$$

при условии, что отношение площадей

$$\frac{S}{S_{нов}} = \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{\pi d L} = \frac{1}{4\lambda}, \quad (27)$$

получим выражение (26) в виде:

$$P = a_1 F_0^2 p \frac{1}{4\lambda} = a^2 F_0^2 p \lambda^{-1}. \quad (28)$$

Обозначим величину p через выражение:

$$p = bL, \quad (29)$$

где: b – коэффициент, зависящий от материала нитки (вес 1 м нитки), или характеристика материала волокна нитки.

Тогда выражение (28) представим в виде:

$$P = a^2 F_0^2 bL \frac{d}{L} = a^2 F_0^2 b d \quad (30)$$

или

$$P = \left(\frac{k_\lambda}{k_\alpha} \right)^2 b d. \quad (31)$$

Относительное удлинение в момент разрыва можно представить зависимостью (32) при условии введения коэффициента ξ :

$$\varepsilon = \xi c_1 F_0 \left(\frac{LP_p}{dS} \right)^{-1/2} = \xi k (\lambda \sigma)^{-1/2}, \quad (32)$$

где:

$$\xi = 10^4 \left(\frac{H}{M^2} \right)^{1/2}.$$

Выражение (32) запишем в виде:

$$\varepsilon = \frac{\xi c_1 F_0}{\lambda^{1/2}} \sigma^{-1/2}, \quad (33)$$

где: c_1 – значения, полученные экспериментальными данными для ПП-90; ПА-210, ПЭФ-150.

Представим, что в момент разрыва:

$$\varepsilon = E^{-1} \sigma. \quad (34)$$

Приравняем (33) и (34):

$$\frac{\xi c_1 F_0}{\lambda^{1/2}} \sigma^{-1/2} = E^{-1} \sigma,$$

или:

$$E = \frac{\lambda^{1/2} \sigma^{3/2}}{\xi c_1 F_0}. \quad (35)$$

Тогда:

$$E = \delta \sigma^{3/2}, \quad (36)$$

где:

$$\delta = \frac{\lambda^{1/2}}{\xi c_1 F_0} - \text{коэффициент.}$$

Если:

$$F_0 = \frac{S_\varepsilon}{S},$$

где: S_ε – суммарная площадь сечения волокон,

то:

$$P = a^2 \left(\frac{S_\varepsilon}{S} \right)^2 \frac{p}{\lambda} \quad (37)$$

или:

$$\sigma = \frac{a^2 F_0^2 b d}{S}. \quad (38)$$

Относительное удлинение в момент разрыва можно представить следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{1}{\delta \sigma^{1/2}}. \quad (39)$$

Если рассмотреть, что при увеличении длины образца L площадь сечения нитки постоянна $S = \text{const}$, вес нитки p увеличивается, тогда относительное удлинение ε уменьшается, а $c_1 = \text{const}$. Коэффициент a характеризует линейную плотность, коэффициент укрута, влажность и прочие свойства нити.

Предложенные математические зависимости (16)-(39) позволяют рассчитать относительное удлинение и разрывную нагрузку крученых рыболовных ниток и веревок, изготовленных из ПА, ПП и ПЭФ, в пределе точности 90 %. Сравнительные данные представлены в таблице 7 (для P) и 8 (для ε).

Таблица 7 - Сравнительные данные разрывной прочности (P)

d , мм	L , мм	V , см/мин	Экспериментальная разрывная прочность нити, $P_{\text{экс.}}$, Н	Расчётная разрывная прочность нити, $P_{\text{рас.}}$, Н	Максимальная ошибка P_p , δ_p , %
ПП 187 Текс					
2,0	100	10	684,5	705,3	3,04
3,1	250	10	1304	1313,4	0,72

Таблица 8 - Сравнительные данные относительного удлинения (ε)

d , мм	L , мм	V , см/мин	Экспериментальное относительное удлинение нити, $\varepsilon_{\text{экс.}}$	Расчетное относительное удлинение нити, $\varepsilon_{\text{рас.}}$	Максимальная ошибка ε_p , δ_ε , %
ПП 187 Текс					
2,0	100	10	0,86	0,79	2,3
3,1	250	10	0,50	0,47	6,0

Математическое моделирование физико-механических характеристик крученых рыболовных материалов позволит при проектировании орудий промышленного рыболовства задавать, с учетом запаса прочности, проектные характеристики рыболовных изделий, которые изготовлены из ПА, ПП и ПЭФ, диаметрами от 1 до 4 мм.

Разработан алгоритм (рисунок 8) расчета зависимости разрывной нагрузки с учетом относительного удлинения рыболовных нитевидных крученых материалов, изготовленных из ПА, ПП и ПЭФ. Разработанный алгоритм справедлив при постоянных скоростях разрыва материала, указанных в работе.

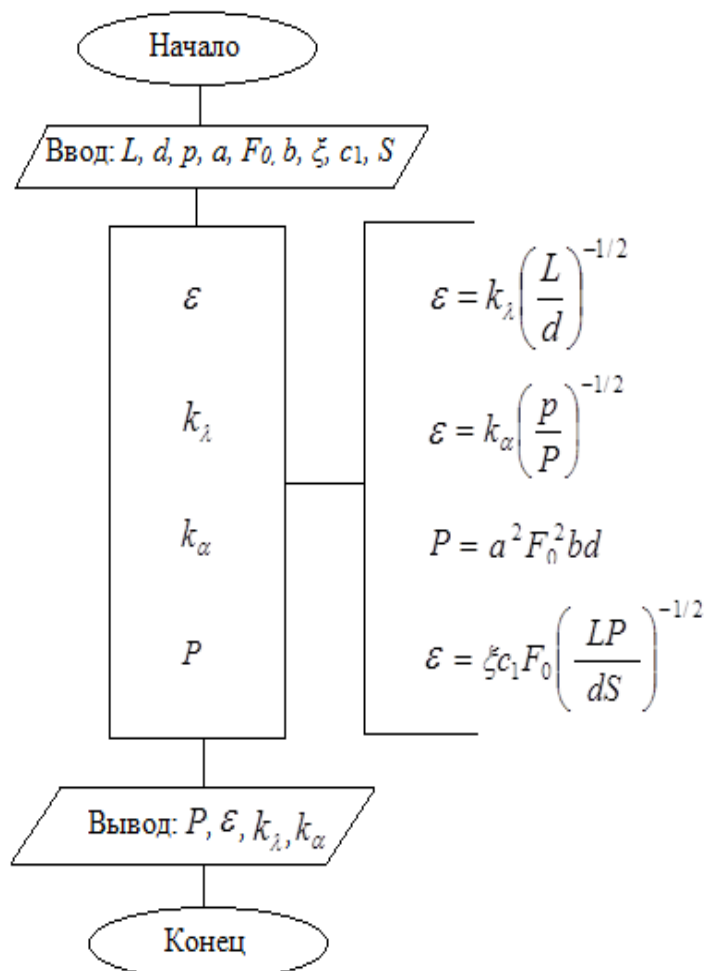


Рисунок 8 – Алгоритм расчета зависимости разрывной нагрузки с учетом относительного удлинения рыболовных нитевидных крученых материалов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью решения поставленных задач были выполнены следующие этапы работ:

- разработана комплексная методика определения разрывной нагрузки и относительного удлинения, включающая в себя стандартную методику в соответствии с ГОСТ 6611.2-73 с дополнениями в виде различных длин образцов (100, 175 и 250 мм) и скоростей подвижной траверсы разрывной машины (10, 50 и 100 см/мин) для образцов, изготовленных из ПА диаметрами 1,1; 2,0; 3,1 мм, ПП диаметрами 1,1; 2,0; 3,1 и 4,0 мм и ПЭФ диаметрами 1,1; 2,0; 3,1 и 4,0 мм;

- по разработанной комплексной методике проведены испытания отобранных образцов крученных ниток и веревок диаметрами от 1,1 до 4,0 мм, изготовленных из ПА, ПП и ПЭФ как в сухом, так и в мокром виде (таблица 1). По каждой серии испытаний был проведен расчет среднеквадратичного отклонения, который не превышал 10 %. Испытания проводились на кафедре «Промышленное рыболовство» ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз» с использованием разрывной машины Shimadzu Autograph AGS-X10 настольного типа с программным обеспечением. Все испытания были проведены в течение нескольких недель при средней температуре воздуха в лаборатории 20-22° С и относительной влажности 30-45 % (зимний период). Целесообразная точность проведенных экспериментов составляет не менее 90 %;

- проведены исследования нитевидных крученных материалов по изучению коэффициента Пуассона, подтверждающие, что коэффициент Пуассона и сплошность материала характеризуют анизотропность рыболовных нитевидных крученных материалов;

- проведена статистическая обработка выполненных испытаний по пяти факторам (диаметр образцов, длина испытываемых образцов, скорость движения траверсы, разрывная нагрузка и относительное удлинение образцов). В исследованном диапазоне аргументов разрывное усилие зависит от одного аргумента – диаметр образцов. Определены уравнения степенной регрессии 1-го, 2-го и 3-го порядка (1)-(3) зависимости разрывного усилия от диаметра. В качестве регрессионной зависимости использовалась показательная функция (4). Формулы (1)-(4) справедливы для диапазонов физических параметров и величин, в которых проводились эксперименты. При этом коэффициенты формул (1)-(4) не указывают явно анизотропность материала, его вес и не характеризуют материал волокна. Таким образом, воспользоваться данными формулами возможно только для заданных условий испытаний, которые были выполнены. Построены графические зависимости относительного удлинения от длин и диаметра образцов (рисунки 4-5). Аппроксимирующая точность статистической обработки проведенных испытаний составила не менее 95 %.

- получены математические модели для расчета относительного удлинения (16), (17), (39) в диапазоне значений от 38 до 121,9 % и разрывной нагрузки (30), (31) в диапазоне значений от 158,2 до 2771,6 Н, для ПА диаметрами 1,1; 2,0; 3,1 мм, ПП диаметрами 1,1; 2,0; 3,1 и 4,0 мм и ПЭФ диаметрами 1,1; 2,0; 3,1 и 4,0 мм. Точность

математических моделей для расчета относительного удлинения и разрывной нагрузки составляет не менее 90 %;

- разработан алгоритм определения разрывной нагрузки и относительного удлинения для отобранных рыболовных нитевидных крученых материалов (рисунок 8), где s_1 значения, полученные экспериментальными данными для ПП-90, ПА-210, ПЭФ-150. Данный алгоритм возможно применять при проектировании орудий промышленного рыболовства с возможностью учета не только разрывного усилия и относительного удлинения, но и запаса прочности материала.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Разработанная в диссертации комплексная методика по определению разрывной нагрузки и относительного удлинения, полученные математические модели и алгоритм позволяют обоснованно выбирать рыболовные материалы для постройки орудий рыболовства на стадии проектирования орудия рыболовства, что позволит уменьшить затраты как финансовые, так и временные на проведение дополнительных экспериментальных исследований, а также позволит обоснованно учитывать коэффициент запаса прочности для данных материалов с целью увеличения работоспособности и долговечности орудия промышленного рыболовства.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Обоснование правил подбора разрывной нагрузки рыболовных крученых изделий / А.А. Недоступ, П.В. Насенков, А.О. Ражев, К.В. Коновалова [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2020. – № 1. – С. 38-45. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-1-38-45.

2. Насенков, П.В. Экспериментальные исследования разрывного усилия и относительного удлинения рыболовных веревочно-нитевидных изделий с различной скоростью разрыва и длиной исследуемых образцов / П.В. Насенков, А.А. Недоступ, В.А. Наумов // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2020. – № 58. – С. 35-48.

3. Насенков, П.В. Экспериментальные исследования коэффициента Пуассона нитевидных рыболовных материалов / П.В. Насенков, А.А. Недоступ, Г.М. Долин // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2021. – № 62. – С. 26-34.

4. 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.

5. Недоступ, А.А. 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.

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

Публикации в других изданиях и материалах конференций:

7. Насенков, П.В. Постановка задачи экспериментальных исследований канатно-веревочных изделий / П.В. Насенков // Материалы I Национальной заочной научно-технической конференции «Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Р.Ф.». – Владивосток: Изд-во Дальрыбвтуз, 2017. – С. 239-243.

8. Насенков, П.В. Экспериментальное исследование физико-механических свойств нитевидно-веревочных изделий / П.В. Насенков // Материалы V Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана». – Владивосток: Изд-во Дальрыбвтуз, 2018. – С. 144-147.

9. Насенков, П.В. Исследование физико-механических свойств нитевидно-веревочных изделий / П.В. Насенков // Материалы III научной школы молодых ученых и специалистов по рыбному хозяйству и экологии, с международным участием, посвященной 140-летию со дня рождения К.М. Дерюгина. «Перспективы рыболовства и аквакультуры в современном мире». – Москва: Изд-во ВНИРО, 2018. – С. 115.

10. Насенков, П.В. Сравнительные данные разрывной нагрузки нитевидных изделий с учетом применения различных конструкций улиточных креплений / П.В. Насенков // Материалы VI Международного Балтийского морского форума 3-6 сентября 2018 года [Электронный ресурс]: в 6 т. – Т. 2: «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии», VI Международная научная конференция. – Электрон.дан. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – С. 390-395.

11. Насенков, П.В. Испытание нитевидно-веревочных изделий в лаборатории рыболовных материалов "Дальрыбвтуза" / П.В. Насенков, А.А. Недоступ // Материалы VI Международного Балтийского морского форума 3-6 сентября 2018 года [Электронный ресурс]: в 6 т. – Т. 2: «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии», VI Международная научная конференция. – Электрон. дан. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – С. 396-399.

12. Насенков, П.В. Анализ разрывного оборудования для исследования рыболовных нитевидных материалов / П.В. Насенков // Материалы II Национальной заочной научно-технической конференции «Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Р.Ф.». – Владивосток: Изд-во Дальрыбвтуз, 2018. – С. 66-72.

13. Постановка задачи исследования физико-механических свойств нитевидных и канатно-веревочных рыболовных материалов / А.А. Недоступ, П.В. Насенков, А.О. Ражев, А.А. Аникин, К.В. Коновалова [и др.] // Материалы национальной научно-технической конференции «Научно-практические вопросы регулирования рыболовства». – Владивосток: Изд-во Дальрыбвтуз, 2019. – С. 34-40.

14. К вопросу теоретического исследования характеристик нитевидно и канатно-веревочных рыболовных материалов / А.А. Недоступ, П.В. Насенков, А.О. Ражев, А.А. Аникин [и др.] // Материалы национальной научно-технической конференции «Научно-практические вопросы регулирования рыболовства». – Владивосток: Изд-во Дальрыбвтуз, 2019. – С. 41-45.

15. Постановка динамической задачи исследования физико-механических свойств нитевидно-веревочных изделий / А.А. Недоступ, П.В. Насенков, А.О. Ражев, А.А. Аникин [и др.]. // X Национальная (всероссийская) научно-практическая конференция «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование». – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2019. – С. 93-95.

16. Обоснование правил подбора физико-механических свойств нитевидно-веревочных изделий при динамической постановке задачи / А.А. Недоступ, П.В. Насенков, А.О. Ражев, А.А. Аникин [и др.] // X Национальная (всероссийская) научно-практическая конференция «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и

техническое использование». – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2019. – С. 96-99.

17. Nedostup A., Nasenkov P., Razhev A., Konovalova K., Nikiforova M., Naumov V. The study of the elasticity of filamentous synthetic fishing materials // 14th International workshop - Methods for the Development and Evaluation of Maritime Technologies DEMAT 2019. V.11. 2019. Turkey. Izmir. – 2019. – P. 153-160.

18. Nedostup A., Nasenkov P., Razhev A., Naumov V. Research of physical and mechanical properties of thread-rope fishing materials // 14th International workshop - Methods for the Development and Evaluation of Maritime Technologies DEMAT 2019. V.11. 2019. Turkey. Izmir. – 2019. – P. 131-138.

19. К обоснованию правил подбора разрывной нагрузки рыболовных материалов / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, П.В. Насенков, К.В. Коновалова [и др.] // Материалы VII Международного Балтийского морского форума 7-12 октября 2019 года [Электронный ресурс]: в 6 т. – Т. 2: «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии», VII Международная научная конференция. – Электрон. дан. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. – С. 281-284.

20. Недоступ, А.А. Анализ нагружений и формоизменений крученых рыболовных ниток и веревок / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, П.В. Насенков // Материалы VI Международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана". – Владивосток: Изд-во Дальрыбвтуз, 2020. – С. 127-130.

21. Насенков, П.В. Коэффициент Пуассона для рыболовных материалов / П.В. Насенков // Балтийский морской форум: материалы IX Международного Балтийского морского форума: в 6 т. – Калининград, 04-09 октября 2021 года. – Калининград: Обособленное структурное подразделение "Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота" федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Калининградский государственный технический университет", 2021. – Т. 2. – С. 358-363.

22. Недоступ, А.А. Механика канатно-веревочных и нитевидных изделий / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, П.В. Насенков, К.В. Коновалова // VIII международная конференция проблемы механики современных машин: Сборник статей конференции, оз. Байкал, 04-09 июля 2022 года. – Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2022. – С. 521-527.

23. Недоступ, А.А. Физическое подобие процесса разрыва рыболовных волокнистых материалов / А.А. Недоступ, П.В. Насенков, Ю.С. Пивоварова // Сборник статей по материалам L Международной научно-практической конференции «Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований». – Новосибирск: СибАК, 2022. – №4 (42). – С. 79-84.

24. Производительность продольных сил (сил натяжения) канатных связей траловых конструкций / А.А. Недоступ, А.О. Ражев, П.В. Насенков, К.В. Коновалова [и др.] // Материалы VII Международной научно-технической конференции «Актуальные

проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана». – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2022. – С. 169-173.

25. Недоступ, А.А. Экспериментальные исследования характеристик крученых рыболовных материалов / А.А. Недоступ, П.В. Насенков // Труды ВНИРО. – 2024. – Т. 198. – С. 123-129.

26. Насенков П.В., Недоступ А.А., Ражев А.О. Математическое моделирование разрывной нагрузки и относительного удлинения в момент разрыва нитевидных рыболовных материалов // Морские интеллектуальные технологии. – 2025. – № 1 (часть 1). – С. 255-261.

Монографии:

27. 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.