

На правах рукописи

ЛЬВОВА ЕКАТЕРИНА ЕВГЕНЬЕВНА

**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
ОЦЕНКИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РЫБОЛОВНЫХ НИТЕВИДНЫХ
МАТЕРИАЛОВ ОТ ФАКТОРОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНОСА**

05.18.17 Промышленное рыболовство

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата наук

Калининград - 2020

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

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент

Суконнов Анатолий Владимирович

Официальные оппоненты:

Мизюркин Михаил Алексеевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории минтая и сельди Тихоокеанского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»).

Савин Михаил Валерьевич, кандидат технических наук, ООО «Фишеринг Сервис», технолог.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет»

Защита диссертации состоится «__»_____2020 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д307.007.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Калининградский государственный технический университет» по адресу 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1, ауд. 255.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет».

<http://www.klgtu.ru/science/diss/soviets/dissertatsii/>

E-mail: olga.anohina@klgtu.ru

Факс: 8 (4012) 99-53-46

Автореферат разослан «__»_____2020 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

кандидат технических наук, доцент

Анохина Ольга Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования определяется тем, что в процессе эксплуатации орудий рыболовства рыболовные текстильные материалы подвергаются воздействию многократных переменных напряжений, в результате чего технические свойства рыболовных материалов значительно ухудшаются, вплоть до разрушения орудия лова. Так, по данным ООО «Фишеринг Сервис» и КРК «Рыбфлот-Фор», при работе в промысловых районах Северной Атлантики в результате износа срок службы пелагических тралов вместо планируемых 4 лет эксплуатации сокращается до 3 лет, а донных тралов с 3 лет до 1,5, то есть срок эксплуатации тралов сокращается на 25 % и 50 % соответственно. Как показывает практика, орудия рыболовства в основном подвержены воздействию механического износа. В связи с этим необходимо определить связь между степенью износа рыболовных нитевидных материалов и факторами механического износа, что позволит более качественно отбирать рыболовные нитевидные материалы при постройке орудий рыболовства и определять устойчивость к износостойкости, как составляющих, так и орудия рыболовства в целом. Полученные результаты оценки износостойкости рыболовных нитевидных материалов могут послужить основой для создания нормативно-технической базы по определению долговечности и работоспособности орудий рыболовства с учетом условий их эксплуатации.

Степень разработанности темы. В настоящее время в отечественной сетеснастной промышленности не существует численных значений и методов оценки параметров износостойкости рыболовных нитевидных материалов. В тоже время зарубежные производители используют такую характеристику, как сопротивление абразивному трению, что позволяет осуществлять более качественный отбор материалов, с учетом условий эксплуатации орудий рыболовства. Исследованиями по изучению процессов износа нитевидных материалов от воздействия абразивного трения и циклических нагрузений занимались: Ю.А. Изнанкин, А.М. Маняхин, И.А. Козлова, В.Н. Мельников, Розенштейн М.М., Т.Н. Кукин, А.Н. Соловьев, Г.А. Гороховский и т.д. однако ввиду отсутствия экспериментального оборудования и методологии исследований результаты не имели практического значения.

Цели и задачи исследования. Целью выполненных исследований является разработка методов экспериментальной оценки износостойкости рыболовных текстильных материалов, в частности рыболовных ниток и

сетеполютен из них от воздействия факторов, обуславливающих механический износ орудий рыболовства.

Для реализации поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести анализ видов износа рыболовных нитевидных материалов, и определить основные направления исследования;
- разработать экспериментальное оборудование для проведения исследований;
- провести отбор и экспертизу исследуемых образцов;
- провести отбор и обоснование факторов обуславливающих реальные условия эксплуатации орудий рыболовства;
- экспериментально определить характер зависимостей величины остаточной прочности и степени потери прочности рыболовных нитевидных материалов от факторов механического износа, с учетом реальных условий эксплуатации орудий рыболовства;
- оценить приоритет влияния исследуемых факторов на степень потери прочности рыболовных нитевидных материалов при: абразивном трении, циклических нагружениях и их совместном воздействии;
- разработать методы оценки износостойкости рыболовных нитевидных материалов, при воздействии: абразивного трения, циклических нагружений и их совместном воздействии;
- экспериментально определить численные значения показателя сопротивления абразивному износу для рыболовных веревок из смесовых волокон, с целью апробации разработанного метода исследования по оценке износостойкости рыболовных нитевидных материалов от абразивного трения;
- провести оценку полученных результатов, с целью выработки рекомендаций для их практического применения.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые:

- установлена зависимость величины остаточной прочности и степени потери прочности рыболовных нитевидных материалов от факторов, обуславливающих механический износ;
- разработаны методы оценки износостойкости рыболовных нитевидных материалов при воздействии: абразивного трения, циклических нагружений и их совместного воздействия;
- разработано экспериментальное оборудование, позволяющее проводить испытания по исследованию механического износа рыболовных нитевидных материалов;

- получены численные значения показателя сопротивления абразивному износу для рыболовных веревок из смесовых волокон.

Теоретическая значимость работы заключается в возможности получения численной оценки износостойкости рыболовных нитевидных материалов от воздействия механического износа, которая должна учитываться при выборе рыболовных материалов на стадии проектирования орудий рыболовства.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования результатов, полученных в работе при выборе рыболовных нитевидных материалов, применяемых при разработке новых конструкций орудий рыболовства, а также оценке работоспособности и долговечности орудий рыболовства с учетом условий их работы.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели применялись:

- экспериментальные методы с натурными рыболовными нитевидными материалами;
- математические методы планирования эксперимента и оценки значимости влияния факторов.

Положения, выносимые на защиту:

- методы экспериментальной оценки износостойкости рыболовных текстильных материалов от воздействия механического износа (абразивное трение, циклические нагружения и их совместное воздействие);
- экспериментальные данные, свидетельствующие об адекватности предлагаемого экспериментального оборудования и методов экспериментальной оценки износостойкости рыболовных нитевидных материалов от воздействия механического износа;
- экспериментальные зависимости по определению величины остаточной прочности и степени потери прочности рыболовных нитевидных материалов от влияющих факторов.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов исследования подтверждается тем, что разработанные методы экспериментальной оценки степени износа рыболовных нитевидных материалов от исследуемых факторов позволили получить зависимости, описывающие данный процесс, с точностью расчета более 95 %.

Основные результаты и положения диссертации ежегодно докладывались на расширенных заседаниях кафедры промышленного рыболовства, представлялись на V, VI Международной научной конференции «Морская

техника и технологии. Безопасность морской индустрии» (Калининград, 2017, 2018 г.), II Национальной научно-технической конференции «Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации» (заочная) (Владивосток, 2018 г.).

Исследования проводились в рамках госбюджетных НИР кафедры промышленного рыболовства ФГБОУ ВО «КГТУ», гранта на выполнение НИР от Фонда содействия инновациям.

Разработанные методы апробированы в производственных условиях ООО «Концепт ЛТД», что подтверждено актом внедрения. Установлено, что применение экспериментального оборудования и разработанных методов имеет практическое значение для более качественного отбора рыболовных текстильных материалов с учетом условий и режимов их эксплуатации.

Основные результаты выполненных исследований были внедрены в образовательный процесс ФГБОУ ВО «КГТУ» по направлениям подготовки бакалавров 35.03.09 Промышленное рыболовство, магистров 35.04.08 Промышленное рыболовство в курсах дисциплин по конструированию и проектированию орудий лова.

Личное участие автора. В 2016-2019 гг. автором сформулированы цели и задачи исследования, разработано экспериментальное оборудование, получен патент на экспериментальную установку по определению сопротивления абразивному трению рыболовных нитевидных материалов, проведены экспериментальные исследования, обработаны и проанализированы полученные экспериментальные данные, подготовлены материалы к представлению на научных конференциях и для опубликования в открытой печати.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе 3 – в изданиях из перечня Российских рецензируемых научных журналов ВАК Минобрнауки России, 1 патент РФ (в соавторстве).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем работы составляет 154 страницы машинописного текста, 16 рисунков, 27 таблиц, 10 приложений. Список использованных источников состоит из 81 наименования, из которых 13 принадлежат иностранным авторам.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и степень разработанности темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, основные положения, выносимые на защиту, приведена степень достоверности и апробация результатов исследования. Износостойкость рыболовных нитевидных материалов, определяет работоспособность и долговечность орудия рыболовства. Износостойкость рыболовных нитевидных материалов изучалась G. Klust, Изнанкиным Ю.А., Гукало Я.М., Мельниковым В.Н., Козловой И.А., Розенштейном М.М., Суконновым А.В. Однако существенных результатов не было получено, ввиду отсутствия экспериментального оборудования и методологии исследований.

В первой главе приведены общие сведения о рыболовных нитевидных материалах и их износостойкости. Проведен обзор методов и способов оценки износостойкости рыболовных нитевидных материалов. Выполнен аналитический обзор научных работ по исследованию оценки износостойкости нитевидных материалов от воздействия механического износа.

Анализ показал, что в отечественной сетеснастной промышленности не определяется величина показателя износостойкости от воздействия механического износа.

Во второй главе сформулированы цели и задачи исследований по разработке экспериментального оборудования и методов оценки износостойкости рыболовных нитевидных материалов от воздействия механического износа.

Третья глава посвящена разработке метода экспериментальной оценки износостойкости рыболовных нитевидных материалов от воздействия абразивного трения.

Исследования выполнялись в рамках гранта «Фонда содействия инновациям» на экспериментальной установке защищённой патентом (рисунок 1).



Рисунок 1 - Экспериментальная установка для определения величины износа при абразивном трении рыболовных текстильных материалов:

1-фундаментная рама, 2-электропривод, 3-редуктор, 4-кривошипно-шатунный механизм, 5-подвижная истирающая поверхность (каретка), 6-концевые выключатели, 7-счетчик циклов.

Основным критерием в разработке экспериментальной установки являлась возможность имитации процесса абразивного трения при движении орудий рыболовства по поверхности слипов, ролов, и рабочих органов рыбопромысловых машин.

Для обеспечения контроля работы установки и снятия показаний, установка оснащена контрольно-измерительными приборами. Для имитации реальных условий работы орудий лова применялись сменные абразивные полоски (шлифшкурки) имеющие различную зернистость в диапазоне от P320 до P100, что соответствует шероховатости слипов рыболовных судов.

Исследовались образцы рыболовных полиамидных ниток 187 текс×2, 187 текс×12 и сетных полосок из них, с различным шагом ячеей, прошедшие экспертизу в соответствии с требованиями РД 15-191-91 «Руководящий документ по стандартизации. Материалы рыболовные из текстильных нитей. Методы испытаний».

С целью подтверждения достоверности полученных данных, был проведен расчет относительных погрешностей измерений диаметра и разрывной нагрузки, который показал, что ошибка не превышает 1,5 %.

Выбор значимых факторов, диапазон их изменений осуществлялся с учётом реальных условий эксплуатации орудий рыболовства и основных характеристик рыболовных материалов, применяющихся при постройке орудий лова, а именно:

- диаметра образца (d), (1,0 - 2,5) мм;
- шага ячеей (a), (20-70) мм;

- шероховатости истирающей поверхности (W), (46,2-150) мкм, что соответствует зернистости шлифшкурки Р320-Р100;
- состояния образцов и поверхностей (мокрое, сухое);
- предварительной загрузки образца (q), (0,5-2,0) кг.

Порядок проведения экспериментальных работ.

На первом этапе процесс трения осуществляется до полного истирания образца, полученные численные значения количества циклов являются показателем – сопротивления абразивному износу.

Второй этап исследования заключается в определении зависимости остаточной прочности исследуемых образцов от числа циклов трения, величины шероховатости поверхности и состояния образцов.

С целью подтверждения достоверности полученных данных, по каждому показателю рассчитывались коэффициент вариации и относительная погрешность измерений.

Были получены графические зависимости остаточной прочности от исследуемых факторов при абразивном трении.

В качестве примера, на рисунке 2 приводится графическая зависимость потери прочности (Π , %) нитки ПА 187 текс×12 (сухое сост.) от количества циклов истирания ($N_{\text{цикл}}$), при различной нагрузке сбегающих ветвей (q), шероховатость истирающей поверхности $W = P100$.

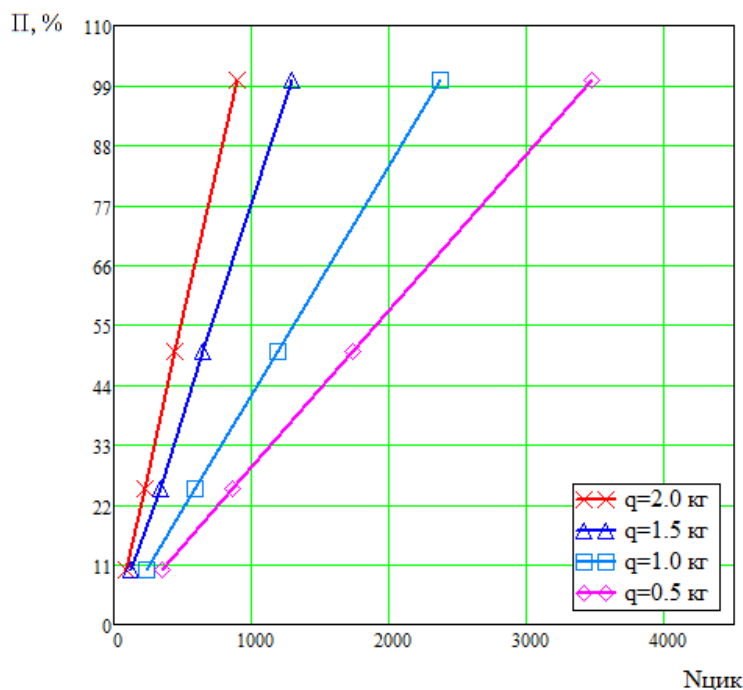


Рисунок 2 - Зависимости потери прочности рыболовной нитки ПА 187 текс×12 (Π , %) (сухой) от количества циклов истирания ($N_{\text{цикл}}$), при различной нагрузке сбегающих ветвей (q), шероховатость истирающей поверхности $W = P100$, $\Pi = f(N_{\text{цикл}})$

По результатам математической обработки экспериментальных данных были получены аналитические зависимости степени износа полиамидной рыболовной нитки 187 текс×12 и сетной полоски изготовленной из нее от количества циклов истирания при $q=2$ кг и $III = P100$.

Нитка ПА 187 текс ×12

$$П = 0,112 * N + 0,026 \quad (1)$$

Сетная полоска ПА 187 текс ×12 - 20 мм

$$П = 0,069 * N - 0,016 \quad (2)$$

Сетная полоска 187 текс ×12 - 70 мм

$$П = 0,105 * N + 0,051 \quad (3)$$

Подводя общий итог по первому этапу исследований можно сделать следующие выводы:

- зависимости потери прочности при абразивном износе от исследуемых факторов (d , W , q , состояние образца) для рыболовных полиамидных ниток и сетных полосок, изготовленных из них, имеют линейно-возрастающих характер;

- нитки имеют более высокое сопротивление абразивному износу, чем сетные полоски, изготовленные из них;

- сетные полоски с меньшим шагом ячеей менее подвержены износу, чем сетные полоски с большим шагом ячеей;

- образцы в сухом виде имеют большее сопротивление абразивному трению, чем в мокром виде;

- увеличение загрузки сбегаящих ветвей снижает сопротивление абразивному трению;

- увеличение шероховатости поверхности приводит к снижению сопротивления абразивному износу, так увеличение шероховатости поверхности в 3 раза приводит к снижению сопротивления абразивному износу в 2 раза для ниток и сетных полосок с шагом ячеей 20 мм; для сетных полосок с шагом ячеей 70 мм – в 1,4 раза.

- износ рыболовных материалов при абразивном трении более равномерен на поверхностях с меньшей шероховатостью и большей нагрузке сбегаящих ветвей (усилием в нитях сетных полосок).

Для апробации метода экспериментальной оценки износостойкости нитевидных рыболовных материалов были проведены испытания рыболовных веревок из смесовых полиолефиновых волокон, с диаметром

от 3,0 мм до 5,0 мм и установлены численные значения сопротивления абразивному износу (Таблица 1).

Таблица 1 - Количество циклов до полного износа веревок из смесовых волокон

Материал сырья, диаметр образца	Количество циклов до полного износа, шт	Загрузка	Шероховатость поверхности
«Оливин» d=3,0	9333	2 кг	Шлифшкурка P320
«Полистил» d=3,5	9490		
«Магнит-грин» d=4,8	14687		
«Оливин» d=3,0	636		Шлифшкурка P100
«Полистил» d=3,5	823		
«Магнит-Грин» d=4,8	1818		

Разработанный метод и экспериментальное оборудование позволяет определять численное значение одного из важнейших показателей - сопротивление абразивному трению для рыболовных текстильных материалов, что позволит обеспечить более качественный отбор их при разработке орудий рыболовства на стадии проектирования.

В 4 главе проводится разработка метода экспериментальной оценки износостойкости рыболовных нитевидных материалов от воздействия циклических нагрузжений.

Для проведения исследований по оценке износостойкости рыболовных материалов от действия циклических нагрузжений была разработана экспериментальная установка (рисунок 3).



Рисунок 3 - Экспериментальная установка для определения величины износа при циклических нагрузках рыболовных текстильных материалов:

1-фундаментная рама; 2-электропривод; 3-втулочно-пальцевая муфта; 4-червячный редуктор; 5-кривошипно-шатунный механизм; 6-эксцентриковое устройство; 7- подвижная каретка; 8-неподвижная траверса с крючками; 9-электромеханический счетчик циклов; 10-блок питания счетчика; 11-пульт управления электроприводом; 12-устройство для корректировки амплитуды нагружения

Принцип действия установки заключается в имитации процесса износа текстильных рыболовных материалов от действия циклических нагружений с различной амплитудой и частотой приложения. Особенностью установки является устройство, в виде подпружиненного барабана-шпули со стопорным механизмом, обеспечивающего постоянство амплитуды растяжения образца при испытаниях.

В качестве объектов исследований были отобраны нитки, изготовленные из одного вида сырья, одного способа производства, разной структуры - нитка ПА 187 текс×6, нитка ПА 187 текс×12.

Отбор и подготовка образцов проводилась по стандартной методике. Достоверность полученных данных была подтверждена расчетом относительной погрешности измерения диаметра и разрывной нагрузки.

С целью сокращения числа экспериментов и получения математической зависимости степени потери прочности при циклических нагружениях, нами были применены методы планирования экспериментов. Были определены значимые факторы и диапазоны их изменения:

- диаметр образцов (d), (1,8-2,5) мм;
- количество циклов нагружения, ($N_{\text{цикл}}$), (100-1000) циклов;

- относительное удлинение образца (Δl), (25-50) % от разрывного удлинения).

Для проведения экспериментальных работ была составлена матрица трехфакторного эксперимента на двух уровнях, который включал в себя 8 прямых опытов с различными сочетаниями факторов.

Порядок проведения испытаний.

На экспериментальной установке, с помощью эксцентрикового механизма задается соответствующая амплитуда циклов (величина амплитуды как правило задается равной 25 %, 50 % от разрывного удлинения для данного образца). Образцы крепятся на крючки каретки и неподвижной траверсы, причем каретка должна находиться в крайнем положении к неподвижной траверсе. Испытания проводятся согласно матрице эксперимента. По окончанию испытаний определяется остаточная прочность исследуемых образцов.

С целью подтверждения достоверности, полученных данных в серии экспериментов, по каждому показателю рассчитывался коэффициент вариации, и относительная погрешность измерений.

Для оценки износостойкости рыболовных нитевидных материалов был введен критерий - степень потери прочности β , который определяется как отношение потери прочности к фактической первоначальной разрывной нагрузке:

$$\beta = \frac{R_{\phi} - P_{\text{ост}}}{R_{\phi}}, \quad (4)$$

где R_{ϕ} – фактическая первоначальная разрывная нагрузка, Н;

$P_{\text{ост}}$ – остаточная прочность образца, Н.

Далее были рассчитаны коэффициенты регрессии и получены математические зависимости остаточной прочности $P_{\text{ост}}$ и степени потери прочности β полиамидной рыболовной нитки от исследуемых факторов:

$$P_{\text{ост}} = 622,5 + 232,75(x_1) - 84(x_2) - 47,75(x_3) + 36,25(x_1 x_2) + 21(x_1 x_3) - 17,25(x_2 x_3). \quad (5)$$

$$\beta = 0,425 - 0,035(x_1) + 0,1(x_2) + 0,057(x_3) - 0,065(x_1 x_2) - 0,038(x_1 x_3) + 0,018(x_2 x_3) - 0,0025(x_1 x_2 x_3), \quad (6)$$

где x_1, x_2, x_3 – кодированные значения: диаметра рыболовной полиамидной нитки, количества циклов нагружения и относительного удлинения, в диапазоне их изменения.

Анализ полученной зависимости позволяет установить приоритет воздействия исследуемых факторов на степень потери прочности полиамидной рыболовной нитки. Установлено, что, наибольшее влияние на степень потери прочности имеет количество циклов нагружения, меньшее значение имеет относительное удлинение нитки, и не значительное влияние оказывает диаметр нитки.

Сравнение экспериментальных и расчетных данных величины степени потери прочности от циклических нагружений доказывают адекватность полученной зависимости, т.к. погрешность не превышает 1,5 % (Таблица 2).

Таблица 2 – Остаточная прочность и степень потери прочности полиамидных ниток от влияющих факторов

№	Диаметр образца, d мм (x ₁)		Количество циклов нагружения, N _{цикл} (x ₂)		Относительное удлинение, Δl % (x ₃)		Остаточная прочность, Р _{ост} , Н	Степень потери прочности		Погрешность расчета %
								β _з	β _р	
1	-1	1,8	-1	100	-1	25	564	0,22	0,220	0
2	+1	2,5	-1	100	-1	25	910	0,35	0,352	-0,57
3	-1	1,8	+1	1000	-1	25	353	0,51	0,509	0,19
4	+1	2,5	+1	1000	-1	25	854	0,39	0,390	0
5	-1	1,8	-1	100	+1	50	457	0,37	0,374	-1,08
6	+1	2,5	-1	100	+1	50	897	0,36	0,359	0,28
7	-1	1,8	+1	1000	+1	50	186	0,74	0,740	0
8	+1	2,5	+1	1000	+1	50	761	0,46	0,460	0

Для выполнения расчетных действий с натурными значениями факторов по определению остаточной прочности и степени потери прочности рыболовной полиамидной нитки от воздействия циклических нагружений необходимо воспользоваться формулами:

$$\text{Рост} = 622,5 + 232,75 * \left(\frac{x_1 - 2,15}{0,35} \right) - 84 * \left(\frac{x_2 - 550}{450} \right) - 47,75 * \left(\frac{x_3 - 37,5}{12,5} \right) + \\ + 36,25 * \left(\frac{(x_1 - 2,15) * (x_2 - 550)}{157,5} \right) + 21 * \left(\frac{(x_1 - 2,15) * (x_3 - 37,5)}{4,38} \right) - 17,25 * \left(\frac{(x_2 - 550) * (x_3 - 37,5)}{5625} \right) \quad (7)$$

$$\beta = 0,425 - 0,035 * \left(\frac{x_1 - 2,15}{0,35} \right) + 0,1 * \left(\frac{x_2 - 550}{450} \right) + 0,057 * \left(\frac{x_3 - 37,5}{12,5} \right) - 0,065 * \\ \left(\frac{(x_1 - 2,15) * (x_2 - 550)}{157,5} \right) - 0,038 * \left(\frac{(x_1 - 2,15) * (x_3 - 37,5)}{4,38} \right) + 0,018 * \left(\frac{(x_2 - 550) * (x_3 - 37,5)}{5625} \right) \quad (8)$$

где x₁ - численное значение диаметра рыболовной полиамидной нитки, в диапазоне (1,8-2,5) мм;

x2 - численное значение количества циклов нагружения, в диапазоне от 100 до 1000 циклов;

x3 - численное значение относительного удлинения, в диапазоне (25-75) %.

Анализ исследований по износостойкости рыболовных ниток от воздействия циклических нагружений показал, что:

- при увеличении диаметра в 1,4 раза, остаточная прочность рыболовной нитки увеличивается в среднем в 2,5 раза;

- при увеличении количества циклов нагружения в 10 раз, остаточная прочность рыболовной нитки снижается в среднем в 1,6 раз;

- при увеличении относительного удлинения в 2 раза, остаточная прочность рыболовной нитки снижается в среднем 1,35 раза.

Глава 5 посвящена разработке метода экспериментальной оценки износостойкости рыболовных нитевидных материалов от совместного действия абразивного износа и циклических нагружений.

Экспериментальные работы по оценке износостойкости рыболовных нитевидных материалов от совместного действия абразивного износа и циклических нагружений проводились на установках, описание которых приведено в главах 3 и 4. Установки были задействованы в синхронном режиме, что позволило исследовать образец при одинаковом количестве циклов истирания и циклических нагружений.

Объектами исследований были выбраны полиамидные рыболовные нитки ПА 187 текс×2 и ПА 187 текс×9 и сетные полосы, изготовленные из них с шагом ячеи 25 мм и 40 мм.

Отбор и подготовка образцов проводилась по стандартной методике. Достоверность полученных данных была подтверждена расчетом относительной погрешности измерения диаметра и разрывной нагрузки.

С целью системного проведения исследований была составлена матрица четырехфакторного эксперимента на двух уровнях.

В качестве исследуемых факторов были выбраны и определены диапазоны их изменения: диаметр нитки (1,0-2,1) мм; шероховатость поверхности (46,2-150) мкм, что соответствует зернистости шлифшкурки Р320-Р100; относительное удлинение образца (25-50) % от разрывного удлинения; значение количества циклов нагружения (25-50) % от количества циклов пройденных до полного разрушения образца.

Порядок проведения испытаний.

Первой стадией проведения экспериментальных испытаний является определение фактической разрывной нагрузки и разрывного удлинения образцов.

Далее определяется количество циклов до полного истирания образцов, при синхронном воздействии абразивного трения и циклических нагрузок. При разрыве одного из образцов экспериментальная установка автоматически останавливается.

Измерения проводятся по 10 раз, определяется среднее арифметическое значение и полученные результаты заносятся в таблицу.

Затем рассчитываются численные значения количества циклов трения, соответствующие 25 % и 50 % количеству циклов до полного истирания исследуемых образцов на поверхностях с различной шероховатостью, и амплитуды циклических нагружений (растяжений), соответствующей 25 % и 50 % от полного разрывного удлинения исследуемых образцов.

Второй этап экспериментальных исследований проводился в соответствии со строками матрицы планирования эксперимента, учитывающих различные сочетания исследуемых факторов.

Образцы закреплялись на экспериментальных установках, и при достижении 25 % и 50 % от количества циклов до полного истирания образца при одновременном воздействии абразивного износа и циклических нагрузках подвергался испытанию на остаточную прочность

С целью подтверждения достоверности, полученных данных в серии экспериментов, подсчитывался коэффициент вариации по каждому показателю, проводился расчет относительной погрешности измерений.

Далее эксперименты проводятся со следующей группой образцов.

Опыты проводятся по 10 раз на каждую строку плана эксперимента, в таблицу (Таблица 3) заносятся средние арифметические значения.

По результатам экспериментов были рассчитаны коэффициенты регрессии и получены математические зависимости остаточной прочности ($P_{ост}$) и степени потери прочности (β) полиамидной рыболовной нитки от исследуемых факторов, заданных в кодированном виде:

$$P_{ост} = 305,94 + 167,69(x_1) - 51,32(x_2) - 57,94(x_3) - 45,31(x_4) - 28,81(x_1 x_2) - 42,44(x_1 x_3) - 37,81(x_1 x_4) + 13,81(x_2 x_3) - 16,06(x_2 x_4) - 7,94(x_3 x_4) + 13,56(x_1 x_2 x_3) - 3,81(x_1 x_2 x_4) - 12,69(x_1 x_3 x_4) + 9,31(x_2 x_3 x_4) + 14,81(x_1 x_2 x_3 x_4). \quad (9)$$

$$\beta = 0,37 + 0,08(x_1) + 0,11(x_2) + 0,1(x_3) + 0,07(x_4) - 0,01(x_1 x_2) + 0,02(x_1 x_3) + 0,03(x_1 x_4) - 0,02(x_2 x_3) + 0,04(x_2 x_4) - 0,02(x_1 x_2 x_3) - 0,02(x_1 x_2 x_4) + 0,02(x_1 x_3 x_4) - 0,03(x_1 x_2 x_3 x_4), \quad (10)$$

где x_1, x_2, x_3, x_4 - кодированные значения: диаметра нитки, шероховатости истирающей поверхности, относительного удлинения образца, циклов нагружения, в заданном диапазоне их изменения.

Отклонение расчетных и экспериментальных данных не превышает 3 %, что говорит об адекватности полученной зависимости (Таблица 3).

Таблица 3 – Остаточная прочность и степень потери прочности нитки ПА 187 текс×2 и нитки ПА 187 текс×9 от совместного воздействия абразивного трения и циклических нагрузжений.

№	Диаметр образца, d мм (x ₁)		Шероховатость, W мкм (x ₂)		Относительное удлинение, Δl % (x ₃)		Количество циклов в процентном соотношении (x ₄)		Остаточная прочность P _{ост} , Н	Степень потери прочности		Погрешность расчета, %
										β _э	β _р	
1	-1	1,0	+1	150	+1	50	+1	50	80	0,59	0,591	-0,21
2	-1	1,0	+1	150	-1	25	+1	50	112	0,43	0,429	0,29
3	-1	1,0	-1	46,2	-1	25	+1	50	171	0,12	0,123	-2,08
4	-1	1,0	-1	46,2	+1	50	+1	50	160	0,18	0,178	1,39
5	+1	2,1	+1	150	+1	50	+1	50	221	0,74	0,741	-0,17
6	+1	2,1	+1	150	-1	25	+1	50	360	0,58	0,579	0,22
7	+1	2,1	-1	46,2	-1	25	+1	50	663	0,22	0,223	-1,14
8	+1	2,1	-1	46,2	+1	50	+1	50	318	0,63	0,628	0,4
9	-1	1,0	+1	150	+1	50	-1	25	121	0,38	0,379	0,33
10	-1	1,0	+1	150	-1	25	-1	25	150	0,23	0,231	-0,54
11	-1	1,0	-1	46,2	-1	25	-1	25	182	0,07	0,068	3,57
12	-1	1,0	-1	46,2	+1	50	-1	25	130	0,33	0,333	-0,76
13	+1	2,1	+1	150	+1	50	-1	25	420	0,51	0,509	0,25
14	+1	2,1	+1	150	-1	25	-1	25	573	0,33	0,331	-0,38
15	+1	2,1	-1	46,2	-1	25	-1	25	700	0,18	0,178	1,39
16	+1	2,1	-1	46,2	+1	50	-1	25	534	0,37	0,373	-0,68

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что:

- при увеличении диаметра в 2,1 раза, остаточная прочность увеличивается в 3,8 раз;
- при увеличении шероховатости истирающей поверхности в 3,2 раза, остаточная прочность снижается в 1,2 раза;
- при увеличении относительного удлинения в 2 раза, остаточная прочность в среднем снижается в 1,5 раза;
- при увеличении количества циклов нагружения в 2 раза, остаточная прочность снижается на 10 %.

Для выполнения расчетных действий с натуральными значениями факторов необходимо перевести кодированные значения факторов к натуральным (x_i), и подставить полученные выражения в формулы 9, 10.

$$x_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (11)$$

где x_i – значение фактора в натуральном виде;

x_{i0} – основной уровень

Δx_i – интервал варьирования

Для полученных зависимостей 9 и 10, численные значения факторов в натуральном виде можно представить, как:

$$x_1 = \frac{x_1 - 1,55}{0,55}; \quad x_2 = \frac{x_2 - 98,1}{51,9}; \quad x_3 = \frac{x_3 - 37,5}{12,5}; \quad x_4 = \frac{x_4 - 37,5}{12,5}$$

Аналогичные исследования были проведены для ниток в мокром виде. При подготовке образцов к испытанию они предварительно выдерживались в соленом растворе (33 %) в течение 24 ч.

По результатам этих исследований были получены математические зависимости остаточной прочности $P_{ост}$ и степени потери прочности β полиамидной рыболовной нитки от исследуемых факторов, заданных в кодированном виде.

Анализ полученных зависимостей позволил сделать следующие выводы:

- шероховатость поверхности и циклические нагрузки оказывают близкие по значению и самые существенные влияния на степень потери прочности нитевидного материала.

- у образцов ниток в мокром виде степень потери прочности выше на 10 % по сравнению сухими образцами. Это объясняется увеличением коэффициента трения за счет намокания.

Аналогичным путем были проведены исследования и получены зависимости остаточной прочности $P_{ост}$ и степени потери прочности β для сетных полосок, изготовленных из нитки ПА 187 текс×2 и нитки ПА 187 текс×9 в мокром виде от исследуемых факторов:

Сетная полоска из нитки ПА 187 текс×2

$$P_{ост} = 225,5 + 8,88(x_1) - 22,13(x_2) - 22,15(x_3) - 49,13(x_4) - 3,38(x_2 \cdot x_3) + 6,25(x_2 \cdot x_4) - 4(x_2 \cdot x_3 \cdot x_4) \quad (12)$$

$$\beta = 0,4 + 0,02 (x_1) + 0,06(x_2) + 0,06(x_3) + 0,13(x_4) - 0,01(x_2 x_4) + 0,02(x_1 x_2 x_3) + 0,01 (x_2 x_3 x_4), \quad (13)$$

Сетная полоска из нитки ПА 187 текс×9

$$P_{\text{ост}} = 721,75 + 86,13(x_1) - 144,75(x_2) - 173,25(x_3) - 153,25(x_4) - 11,38(x_1 x_3) - 22,18(x_1 x_4) + 42(x_2 x_3) - 12,13(x_1 x_2 x_3) - 17,38(x_1 x_3 x_4) + 18,5 (x_2 x_3 x_4) + 12,88(x_1 x_2 x_3 x_4), \quad (14)$$

$$\beta = 0,51 + 0,02 (x_1) + 0,07(x_2) + 0,07(x_3) + 0,17(x_4) - 0,03(x_2 x_3) - 0,01(x_2 x_3 x_4), \quad (15)$$

где x_1, x_2, x_3, x_4 - кодированные значения: шага ячеи, шероховатости истирающей поверхности, относительного удлинения образца, циклов нагружения, в заданном диапазоне их изменения.

Отклонение экспериментальных данных от расчетных в среднем не превышает 5 %, что говорит об адекватности полученных зависимостей.

Из полученных зависимостей следует, что:

- увеличение шероховатости истирающей поверхности в 3 раза снижает прочность сетных полосок на 20 %;
- увеличение амплитуды растяжения в 2 раза приводит к снижению прочности сетных полосок на 15 %;
- с увеличением количества циклов нагружения при совместном воздействии факторов механического износа, прочность сетных полосок снижается на 50 %;
- сетные полоски с большим шагом ячеи имеют износостойкость ниже, чем сетные полоски с меньшим шагом ячеи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для формирования цели и задач диссертационной работы был проведен обширный анализ отечественных и зарубежных исследований по методам, способам оценки износостойкости материалов и изделий.

В результате проведенного анализа было выявлено, что в сетеснастной и рыбной отраслях до настоящего времени вопрос по оценке износостойкости рыболовных материалов не был решен, что приводит к необоснованному выбору этих материалов при постройке орудий рыболовства, в свою очередь это сказывается на их работоспособности и долговечности.

Поставленные в диссертационной работе задачи были выполнены в полном объеме:

- сконструированы, изготовлены и оснащены контрольно-измерительной аппаратурой экспериментальные установки, для проведения исследований по

определению величины износостойкости рыболовных нитевидных материалов от воздействия различных факторов механического износа, в частности на установку по исследованию износостойкости рыболовных нитевидных материалов получен патент РФ на полезную модель № 174834;

- впервые были разработаны методы экспериментальной оценки износостойкости рыболовных нитевидных материалов при абразивном трении, циклических нагружениях и их совместном воздействии, которые позволяют проводить оценку показателей износостойкости натуральных рыболовных материалов;

- по разработанным методам на экспериментальных установках был выполнен значительный объем экспериментальных исследований по определению и оценке износостойкости рыболовных нитевидных материалов.

По результатам выполненных экспериментальных исследований получены:

- графические и аналитические зависимости потери прочности рыболовных полиамидных ниток и сетных полосок из них от различных обоснованно выбранных влияющих факторов (диаметр, шаг ячеи, шероховатость поверхности, состояние образцов и поверхностей) для условий абразивного износа;

- зависимости величины остаточной прочности и степени потери прочности рыболовных полиамидных ниток при циклических нагружениях от факторов: диаметр нитки, количество циклов нагружения, относительное удлинение;

- зависимости величины остаточной прочности и степени потери прочности рыболовных полиамидных ниток и сетных полосок, изготовленных из них при совместном воздействии абразивного трения и циклических нагружений от факторов: диаметра нитки, шероховатости поверхности, относительного удлинения, количества циклов нагружения

На основании полученных зависимостей сделаны следующие выводы:

- зависимость потери прочности рыболовной полиамидной нитки и сетных полосок из нее от исследуемых факторов носит линейный характер;

- рыболовные полиамидные нитки имеют сопротивление абразивному износу больше чем сетная полоска, изготовленная из нее;

- сетные полоски с большим шагом ячеи имеет более низкое сопротивление абразивному износу, чем сетные полоски с меньшим шагом ячеи; так увеличение шага ячеи в 3,5 раза приводит к увеличению износа в 1,5 раза;

- увеличение нагрузки на рыболовную полиамидную нитку в 4 раза (от 0,5 до 2,0 кг) уменьшает сопротивление абразивному износу в 3 раза;

- потеря прочности рыболовных ниток и полосок, изготовленных из них с увеличением шероховатости поверхности в 3 раза, в среднем увеличивается в 2,5 раза;

- увеличение диаметра рыболовной полиамидной нитки в 1,4 раза повышает остаточную прочность при циклических нагрузках на 10 %.

- увеличение количества циклов нагружения в 10 раз – снижает остаточную прочность в 10 раз.

- увеличение амплитуды удлинения в 2 раза снижает остаточную прочность на 20 %.

Проведена оценка значимости влияния исследуемых факторов на износостойкость рыболовных нитевидных материалов при:

- абразивном трении;

- циклических нагрузках;

- совместном воздействии абразивного трения и циклических нагрузок.

При абразивном трении наибольшее влияние на потерю прочности рыболовных полиамидных ниток и сетных полосок из них оказывает приложенное усилие и шероховатость истирающей поверхности.

При циклических нагрузках на степень потери прочности рыболовных полиамидных ниток наибольшее влияние оказывают близкие по значению, величина шероховатости истирающей поверхности, и величина амплитуды удлинения.

При совместном воздействии абразивного трения и циклических нагрузок наибольшее влияние на степень потери прочности:

- рыболовных полиамидных ниток оказывают близкие по значению - величина шероховатости истирающей поверхности и амплитуды удлинения;

- сетных полосок, изготовленных из рыболовных полиамидных ниток, оказывает количество циклов нагружения.

Впервые экспериментально были получены численные значения величины показателя сопротивления абразивному износу для рыболовных веревок из смесовых материалов, широко применяющихся в промышленном рыболовстве, что позволит более объективно оценивать применяемые материалы на стадии конструирования и изготовления орудий рыболовства.

Практические рекомендации.

Предложенные в работе методы позволяют ввести в нормативно-техническую документацию на рыболовные нитевидные материалы показатель сопротивления абразивному износу, что особенно актуально при применении рыболовных материалов, изготовленных из новых видов сырья и из смесовых волокон. Введение этой характеристики позволит проводить более

качественный отбор рыболовных материалов на стадии проектирования орудий рыболовства и поможет предотвратить его преждевременный износ во время эксплуатации.

Результаты исследований в дальнейшем должны стать исходной базой для разработки нормативно-технической документации по определению фактического износа и продолжительности работы орудий рыболовства с учетом условий их эксплуатации.

Результаты экспериментальных исследований и экспериментальное оборудование применялись фирмой ООО ЛЦТ КОНЦЕПТ при входном контроле рыболовных нитевидных материалов, применяемых при постройке тралов, что подтверждается актом внедрения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Львова Е.Е., Суконнов А.В., Суконнова Т.Е. Экспериментальная установка для исследования влияния циклических нагрузжений на прочность текстильных рыболовных нитевидных материалов // Рыбное хозяйство. №4. - 2017. - С. 97-99.

2. Львова Е.Е., Суконнов А.В., Суконнова Т.Е. Экспериментальные исследования процесса износа рыболовных нитей от абразивного трения// Рыбное хозяйство. №4. - 2017. - С. 106-108.

3. Львова Е.Е., Суконнов А.В., Розенштейн М.М., Суконнова Т.Е. Методика экспериментальной оценки износостойкости сетеснастных рыболовных материалов от факторов механического износа// Известия КГТУ. – 2020. – №56. – С. 48-60.

Патенты Российской Федерации:

4. Патент на полезную модель № 174834 РФ, МПК G01N 3/56 (2006.01). Установка для испытания износостойкости рыболовных нитевидных материалов / **Львова Е.Е.**, Суконнов В.А.– № 2017103995; заявл. 07.02.2017; опубл. 03.11.2017, Бюл. № 31.

Публикации в других изданиях и материалах конференций:

5. Львова, Е.Е. Износостойкость нитевидных материалов / Е.Е. Львова // Межвузовская научно-техническая конференция курсантов и студентов «День науки»: материалы. – Калининград, 2015 . – С. 334 – 337.

6. Львова Е.Е. Экспериментальные исследования новых рыболовных материалов на абразивное трение/Е.Е. Львова, А.В. Суконнов// Известия Калининградского государственного технического университета. – 2015. – №39. – С. 41-46

7. Львова Е.Е., Суконнов А.В. К вопросу оценки износостойкости рыболовных нитей от циклических нагрузжений. // V Международный Балтийский морской форум. V Международная научная конференция «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии»: материалы. - Калининград: Изд-во БГАРФ. - 2017. - С. 418-421

8. Львова Е.Е., Суконнов А.В. Экспериментальная оценка прочностных характеристик рыболовных нитей от их геометрических параметров // Материалы VI международного Балтийского морского форума «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии» / КГТУ. - 2018. - С. 373 - 378.

9. Суконнов А.В., Львова Е.Е. Экспериментальное определение зависимости прочностных характеристик рыболовных монопнитей от их диаметра// Сборник материалов Материалы II Национальной заочной научно-технической конференции «Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации» Владивосток, Дальрыбвтуз, 2018. - С. 47 - 49.