

На правах рукописи



Степанова Анна Борисовна

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ПАРААРАМИДНЫХ НИТЕЙ**

Специальность 05.19.01 – Материаловедение производств
текстильной и легкой промышленности

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна» на кафедре материаловедения и товарной экспертизы.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Лебедева Галина Георгиевна

Официальные оппоненты: **Шустов Юрий Степанович**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологии», проректор по научной работе и заведующий кафедрой текстильного материаловедения
Тюменев Юрий Якубович
кандидат технических наук, доцент, ФГОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», профессор кафедры материаловедения и товарной экспертизы

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Костромской государственный технологический университет»

Защита состоится 18 июня 2014 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.236.01 в ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна» по адресу: 191186, г.Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.18, ауд. 241.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна» по адресу: 191186, г.Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.18., www.sutd.ru

Автореферат разослан « » апреля 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Витковская Раиса Федоровна

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Развитие наукоемких областей техники: авиа-, ракетно- и судостроения, космической и электронной промышленности и др., невозможно без использования конструкционных материалов на основе термо- и огнестойких волокон, способных сохранять необходимые свойства при высоких температурах, при одновременном воздействии на них агрессивных сред и ионизирующего излучения.

Наиболее перспективными для этих целей являются волокна и нити, сохраняющие высокую механическую прочность и модуль упругости, при одновременном воздействии комплекса агрессивных сред. Несмотря на высокую стоимость, их применение оправдано эксплуатационной востребованностью.

Основными областями применения параарамидных нитей и изделий из них являются:

– теплоизолирующая продукция, рукава, приводные ремни, канаты, кабели, провода зажигания, термопластические трубы и пр. – изделия, для которых влияние температурного фактора, сопряжено с механическими напряжениями и воздействием химических сред;

– шины, конструкционные пластики для автомобильной, кораблестроительной промышленности и пр. – изделия, для которых существенное значение имеют температурный фактор и агрессивные среды;

– композиционные материалы для космической промышленности и ракетостроения – изделия, эксплуатируемые в условиях ионизирующего излучения, совместно с температурным фактором.

При всей актуальности и востребованности сведений об эксплуатационных характеристиках параарамидных волокон, до настоящего времени не проводилось системных исследований их надежности при комплексном воздействии различных агрессивных сред, а опубликованные сведения не носят системного характера.

Цель работы и основные задачи исследования. Целью работы являлась оценка ресурса надежности параарамидных нитей при комплексном воздействии эксплуатационных факторов.

Для достижения указанной цели работы решались следующие задачи:

– изучение влияния кратковременного и длительного воздействия температуры на механические свойства указанных параарамидных нитей;

– оценка влияния химических сред на основные механические свойства параарамидных нитей;

– экспериментальные исследования характера изменения механических свойств параарамидных нитей при совместном воздействии высоких температур и агрессивных сред;

– проведение сравнительной оценки надежности исследуемых параарамидных нитей при комплексном воздействии факторов среды;

– изучение воздействия ионизирующего излучения на механические свойства параарамидных нитей;

– определение поведения нитей в различных условиях эксплуатации, полученных на основании экспериментальных данных и рекомендации по расширению области их применения.

Работа проведена в соответствии с планом госбюджетных НИР СПГУТД по проекту Лентек 1.10.07 «Разработка физических моделей, методологии и алгоритмов оценки экстремальных механических, термических, средостойкости и др. свойств материалов на основе элементов 2-го и 3-го периодов Периодической системы элементов»

Научная новизна работы заключается в прогнозировании изменения механических свойств при комплексном исследовании параарамидных нитей Технора Т200 и группы нитей Тварон под воздействием условий эксплуатации, а именно:

– установлен характер изменения механических свойств параарамидных нитей при термическом старении, при кратковременном воздействии высоких температур, при влиянии агрессивных сред, а также при комплексном воздействии температуры и агрессивных сред;

– с помощью сравнительного анализа методами ТГА и ДТА определена термическая выносливость исходных параарамидных нитей и нитей, подверженных воздействию агрессивной среды;

– получены аналитические зависимости механических свойств параарамидных нитей от влияния высоких температур (250, 275 и 300 °С) и продолжительности их воздействия на механические свойства, позволяющие прогнозировать их изменения в изученных пределах;

– установлен характер влияния ионизирующего излучения на механические свойства параарамидных нитей, свидетельствующие о возможности их применения при производстве композитов для космической промышленности, в авиа- и ракетостроении.

Практическая значимость результатов работы заключается в оценке надежности параарамидных нитей Технора и группы нитей Тварон в экстремальных условиях эксплуатации, при этом:

– выявлены температурные пределы эксплуатации исследуемых параарамидных нитей при термическом старении и при кратковременном воздействии высоких температур;

– определена допустимая продолжительность воздействия агрессивных сред, а также материальный ресурс работы при комплексном воздействии температуры и агрессивной химической среды;

– разработаны методики оценки термических характеристик химически обработанных параарамидных нитей; хемостойкости термосостаренных параарамидных нитей;

– усовершенствованы методики определения хемостойкости параарамидных нитей;

– результаты диссертационной работы внедрены в ООО НПФ «ТЕХИНКОМ» и используются в учебном процессе при подготовке студентов Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна в курсах лекций, включающих сведения о волокнах и нитях с экстремальными свойствами.

Достоверность результатов подтверждается апробацией результатов исследований на всероссийских и международных конференциях, публикациями в научной печати, использованием сертифицированных программ и стандартных математических методов для обработки результатов измерений.

Личный вклад автора состоит в выборе цели исследования, постановке задач, разработке методик экспериментов и их реализации, а также в разработке математических моделей, позволяющих прогнозировать поведение нитей в процессе эксплуатации, подготовке материалов для публикации совместно с соавторами.

Апробация работы. Результаты работы доложены и обсуждены на всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Проблемы экономики и прогрессивные технологии в текстильной, легкой и полиграфической отраслях промышленности» (Дни науки), 2006 г., Санкт-Петербург (СПГУТД); международных научно-технических конференциях «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» (Прогресс), 2006, 2007 г.г., Иваново (ИГТА); международной научно-технической конференции и IX всероссийской олимпиаде молодых ученых «Наноструктурные, волокнистые и композиционные материалы» 2013 г., Санкт-Петербург (СПГУТД); VIII Международной конференции «Математическое моделирование в образовании, науке и производстве» 2013 г., Тирасполь (ПГУ им. Т.Г. Шевченко); VI Всероссийской Каргинской конференции "Полимеры – 2014", 2014г., Москва (МГУ); на научных семинарах кафедры материаловедения и товарной экспертизы.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 16 работ, из них 4 в журналах из перечня ВАК.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, 5 приложений. Работа выполнена на 155 страницах, содержит 64 рисунка, 30 таблиц, список использованных источников состоит из 215 наименований.

Содержание работы:

Во введении обоснована актуальность темы работы.

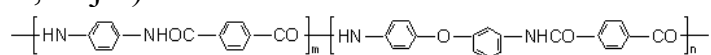
В первой главе рассмотрены способы получения, структура и свойства параарамидных нитей, области применения материалов на их основе, определены основные факторы, влияющие на прочность изделия в процессе эксплуатации: термические, химические и ионизирующее излучение.

Установлено, что для новых видов параарамидных нитей отсутствуют сведения о влиянии условий эксплуатации, в частности агрессивных сред, высоких температур и ионизирующего излучения на механические свойства нитей. На основании литературного обзора сформулированы цель и задачи исследования, решение которых позволит оценить эксплуатационную надежность изделий на основе параарамидных нитей и определить условия их хранения.

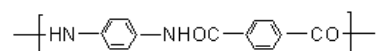
Во второй главе представлены характеристика объектов и методы исследований.

В качестве объектов исследования выбраны высокопрочные и высококомодульные параарамидные нити:

со-поли-парафенилен3,4-оксидифенелентерефталамид (Технора Т200 Япония, Teijin)



полипарафенилен-терефталамид (Нидерланды, Teijin Twaron b. v)



Характеристика объектов представлена в таблице 1.

При изучении теплостойкости, измерения проводились и для нитей Кевлар, Армос, Русар, для которых в доступных источниках соответствующие данные отсутствуют.

Таблица 1 – Характеристика объектов исследования

Показатели	Виды нитей, страна			
	Технора Т200	Тварон 1000	Тварон 2000.	Тварон 2200
Линейная плотность, текс	110	110	110	121
Количество элементарных нитей в комплексной, шт	1000	1000	1000	1000
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	177	162	175	168
Удлинение при разрыве, %	3,7	2,9	2,7	2,3

Исследования проводились с использованием стандартных, а также усовершенствованных и новых разработанных методик:

- усовершенствована методика определения хемостойкости параарамидных нитей;
- разработана методика оценки термических характеристик химически обработанных параарамидных нитей;
- разработана методика определения хемостойкости термосостаренных параарамидных нитей.

Для обработки результатов измерений и определения аналитических зависимостей процессов термо- и хемостарения использовались методы математической статистики, регрессионного анализа и стандартные программы, позволяющие проводить обработку результатов измерений и их визуализацию.

Достоверность полученных результатов и выводов обеспечена согласованностью результатов теоретических и экспериментальных исследований, обоснованным объемом выборок, применением стандартных методов математической статистики.

В третьей главе представлены результаты исследования термических характеристик параарамидных нитей. Одним из основных критериев оценки термостойкости полимеров является температура начала интенсивного термического разложения (окисления) ($T_1, ^\circ\text{C}$), т.к. именно при этой температуре происходит изменение химической структуры полимера. Процесс термодеструкции (термоокисления) сопровождается интенсивным выделением тепла. Наличие пиков на кривых ДТА свидетельствует о происходящих процессах изменения структуры полимера.

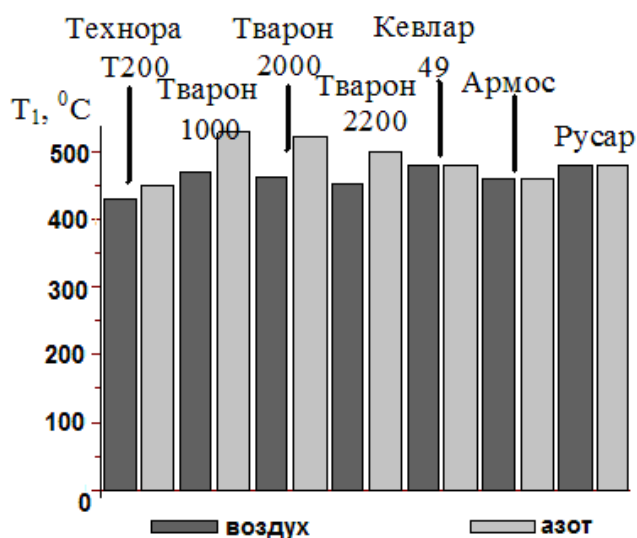


Рисунок 1 – Температура начала термического разложения на воздухе и в среде азота (T_1 , °C)

На рисунке 1 представлены значения температур, при которых начинается термическое разложение в средах воздуха и азота. Показатели термической стабильности волокнообразующего параарамиды выше по сравнению с мета-изомером: что объясняется нижеотмеченным межмолекулярным взаимодействием (на этапе десорбции структурно связанных примесей), приводящих к сближению макромолекулярных цепочек. Температура начала разложения для нитей Технора Т200 в среде воздуха и азота равна 430 и 450 °C; для группы нитей на основе ПФТА – 450–470 °C и 500 – 530 °C соответственно.

Экспериментальное определение термических характеристик исходных нитей и нитей, подверженных воздействию агрессивных сред, важно для определения сферы их практического применения. Исходя из условий эксплуатации, исследовано влияние кислотных и щелочных сред. На рисунках 2 и 3 представлены кривые ТГА, ДТА для нити Технора Т200 до и после 120 ч воздействия 10 % раствора H_2SO_4 . Получено, что после обработки раствором H_2SO_4 , температура T_1 , увеличивается, что связано с изменением поверхности нити. Это подтверждается проведенными дополнительными исследованиями: после воздействия 10% раствора H_2SO_4 , термостойкость нити повышается.

Для нити Тварон 2200 после воздействия 10 % раствора H_2SO_4 в воздушной среде температурные показатели (T_1 , °C) остаются прежними или несколько смещаются в область более высоких температур, в инертной – смещаются в область более низких температур, такая же динамика наблюдается и после воздействия 10 % раствора NaOH. Отличие поведения нитей Технора Т200 на основе мета-арамиды от нити на основе ПФТА – Тварон 2200 связано с тем, что волокно проявляет гидрофильные свойства, интенсивно набухает в водных-растворах, что приводит к повышению активности реакционных центров по амидогруппам, концевым амино и карбосильным группам волокнообразующего полимера и низкомолекулярных олигомерных фракций.

При сопоставлении дериватограмм исходных нитей и нитей после химического воздействия, отмечено, что изменился характер процесса деструкции – площадь пиков уменьшилась, процесс термодеструкции замедлился. Кроме того, точка T_{max} (температура максимальной скорости тепловыделения, т.е. нарастания экзотермического теплового эффекта, по кривым ДТА) смещается в область более высоких температур, воздействие агрессивной среды приводит к уплотнению поверхности нити, структурной модификации волокна, в связи с чем, термостойкость нити повышается.

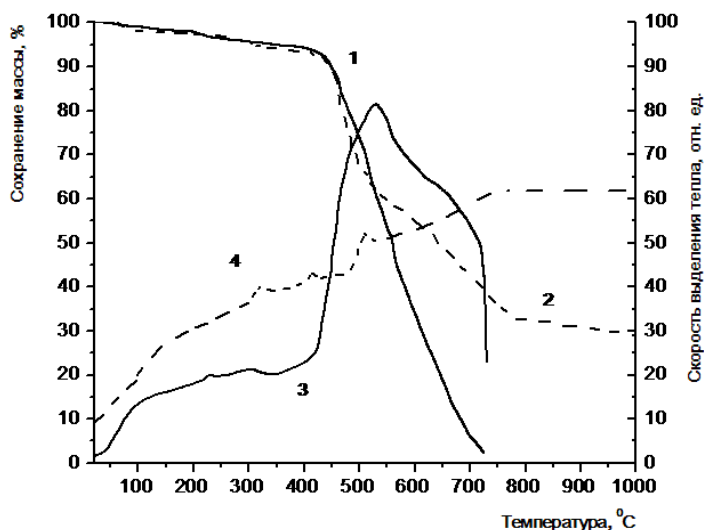


Рисунок 2 – Кривые ТГА, ДТА на воздухе (1, 3) и в среде азота (2, 4) для нити Технора Т200

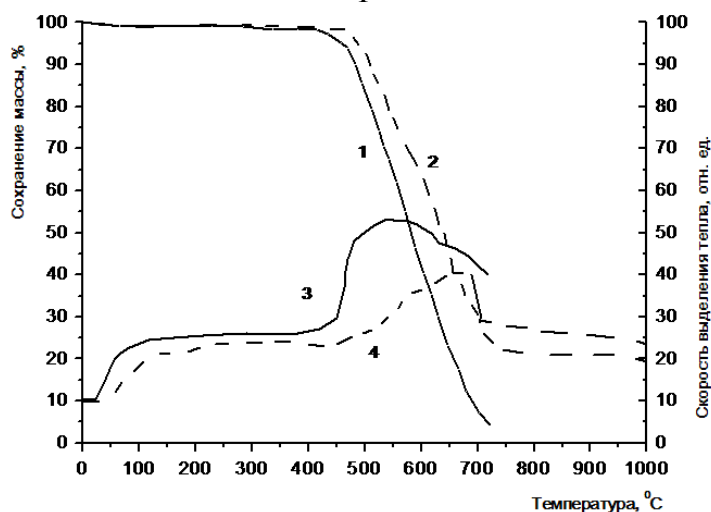


Рисунок 3 – Кривые ТГА, ДТА на воздухе (1, 3) и в среде азота (2, 4) для нити Технора Т200 после воздействия 10 % раствора H_2SO_4 в течение 120 ч

Теплостойкость нитей оценивалась по степени сохранения механических характеристик после термического воздействия. Анализ результатов измерений свидетельствует, что полученные данные зависимости изменения разрывной нагрузки (P_{ts}/P_0) от температуры кратковременного воздействия 20, 100, 150, 200, 250 и 300 °С для нитей Технора Т200, Тварон 1000, Тварон 2000 и Тварон 2200, могут быть описаны квадратичной функцией регрессии:

$$\frac{P_{ts}}{P_0} = A + B_1 t + B_2 t^2 \quad (1),$$

где A , B_1 и B_2 – коэффициенты уравнения (таблица 2).

С повышением температуры воздействия, прочностные показатели нитей падают, при этом, при температуре 100, 150, 200 °С, высокомодульные нити Тварон 2000 и Тварон 2200 имеют прочностные характеристики выше, чем высокопрочные Технора Т200 и Тварон 1000.

Таблица 2 – Коэффициенты квадратичной функции регрессии для относительной разрывной нагрузки

№ п/п	Название нити	Коэффициенты		
		$A (\pm 0,5)$	$B_1 (\pm 0,01)$	$B_2 (\pm 5 \cdot 10^{-5})$
1	Технора Т200	104,3	-0,17	$-1,0 \cdot 10^{-4}$
2	Тварон 1000	101,2	0,05	$-7,3 \cdot 10^{-4}$
3	Тварон 2000	103,0	-0,14	$-2,0 \cdot 10^{-4}$
4	Тварон 2200	101,4	0,01	$-6,8 \cdot 10^{-4}$

Это объясняется структурными преобразованиями полимера: при воздействии температуры для нитей на основе ПФТА, происходит разрушение водородных связей между макромолекулами полимера.

Для объяснения характера структурных изменений арамидных нитей в кислых растворах в условиях гидролиза были исследованы ИК-спектры нитей до и после воздействия агрессивными средами. При воздействии агрессивной среды на нить Технора Т200 в течение до 120 ч происходит протонирование концевых NH_2 групп ($-\text{N}^+\text{H}_3$) и атомов азота в амидогруппах $-\text{NH}-\text{CO}-$ (превращающихся в $\text{N}^+\text{H}_2-\text{CO}-$) и, затем, присоединение продуктов гидролиза низкомолекулярных фракций по концевым карбоксильным группам с образованием ионных связей. Это подтверждается данными динамического термогравиметрического анализа и дифференциального термического анализа. Анализ экспериментальных данных свидетельствует о возможности межмолекулярных взаимодействий и повышении прочности полимера за счет «шунтирования» дефектных областей элементарных нитей (известно, что на поверхности волокна Технора Т200 имеются микротрещины), их структурных элементов. На рисунках 4-5 представлены ИК-спектры для нити Технора Т200 до и после воздействия 10 % раствора H_2SO_4 в течение 96ч.

Четвертая глава посвящена исследованию термических свойств параарамидных нитей, определению влияния агрессивных сред на механические свойства параарамидных нитей.

Термостойкость нитей оценивалась по степени сохранения механических характеристик в заданных условиях термического воздействия. Для исследуемых нитей, была определена зависимость изменения показателя относительной разрывной нагрузки от температуры (250, 275 и 300 °С) при различной продолжительности воздействия (до 100 ч). Рисунки 6 – 9 иллюстрируют зависимость изменения показателя относительного изменения прочности P_t/P_0 от температуры и времени воздействия для нитей в фиксированном состоянии. Наименее устойчива к длительному воздействию температуры нить Тварон 1000.

Анализ результатов измерений зависимости изменения показателя относительной разрывной нагрузки от времени воздействия (в интервале 0 – 100 часов) для группы нитей Тварон и для нити Технора Т200 при температуре воздействия 300 °С (в фиксированном состоянии) показал, что полученные данные могут быть описаны экспоненциальной функцией:

$$\frac{P_t}{P_0} = P_{ост} + P_n e^{-\frac{\tau}{\tau_\varepsilon}} \quad (2),$$

где τ – время термического воздействия, ч; $P_{ост}$ – остаточная разрывная нагрузка, %; P_n – коэффициент, %; τ_ε – параметр, определяющий скорость процесса.

При температурах нагрева до 275°С для нити Технора Т200 зависимость изменения показателя относительной разрывной нагрузки от времени воздействия описывается полиномиальной функцией типа (1).

Исследованные образцы по показателям сохранения прочности в порядке возрастания можно выстроить следующим образом: высокопрочная нить Тварон 1000 < высокомодульные нити Тварон 2000 и Тварон 2200 < высокопрочная нить Технора Т200.

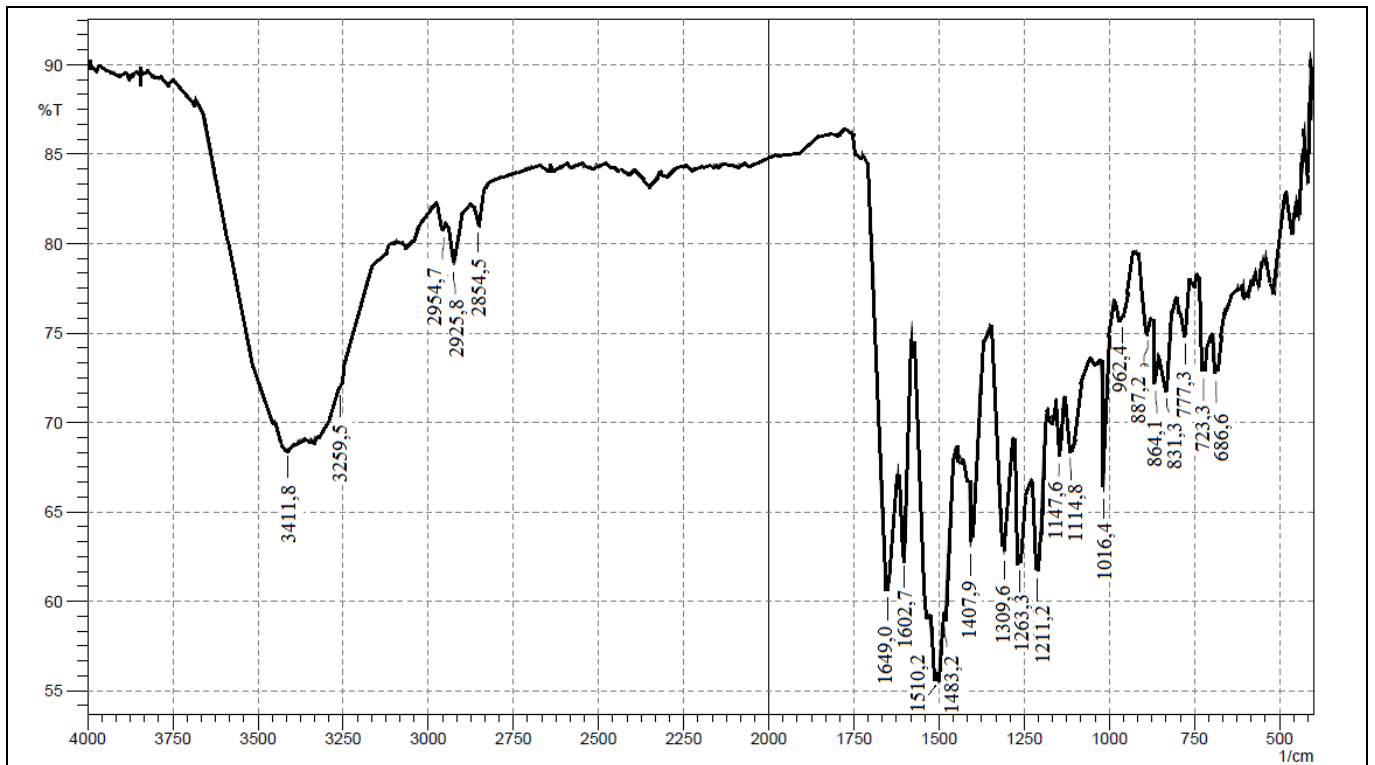
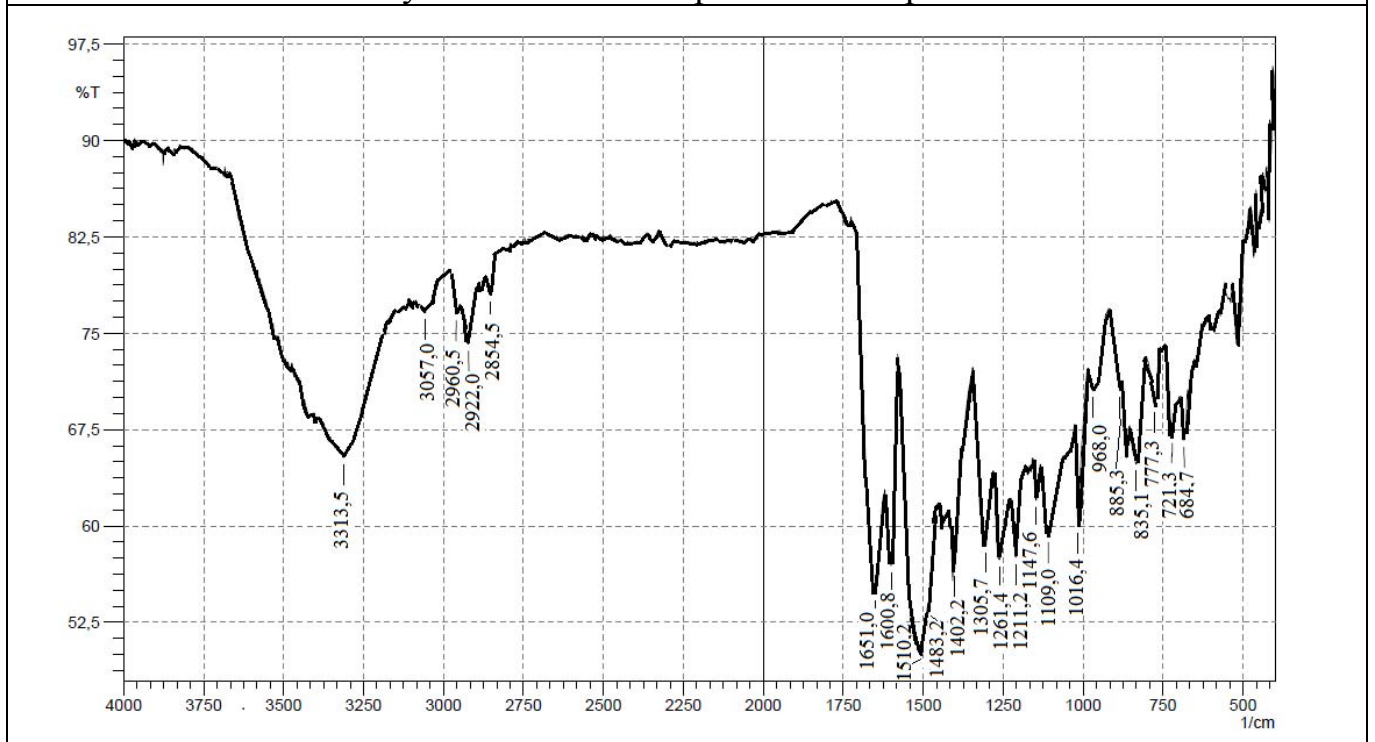


Рисунок 4 – ИК-спектр нити Технора Т200

Рисунок 5 – ИК-спектр нити Технора Т200 после воздействия 10 % раствора H_2SO_4 в течение 96 ч

Механические свойства нитей, находящихся в свободном состоянии, меняются аналогично.

Хемостойкость нитей оценена по степени сохранения механических характеристик после химического воздействия 10 % растворами H_2SO_4 и $NaOH$, C_6H_6 (бензолом) и C_3H_6O (ацетоном) при времени воздействия 24, 48, 72, 96, 120, 168 и 240 часов в свободном состоянии.

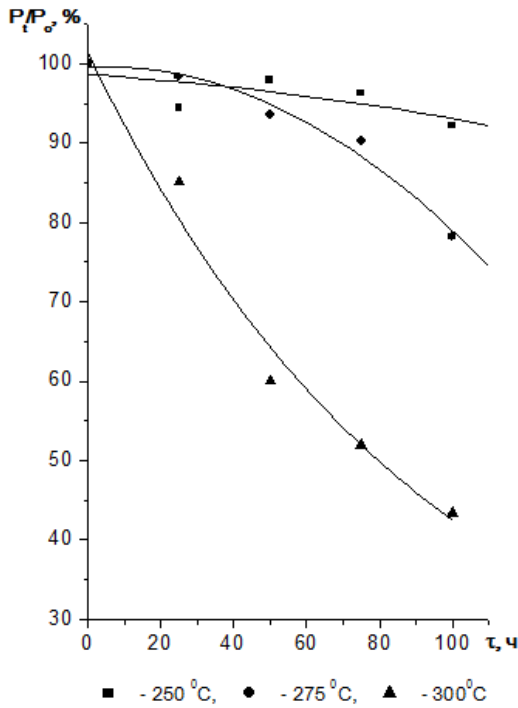


Рисунок 6 – Изменение показателя относительной разрывной нагрузки для нити Технора Т200 после термической обработки в фиксированном состоянии

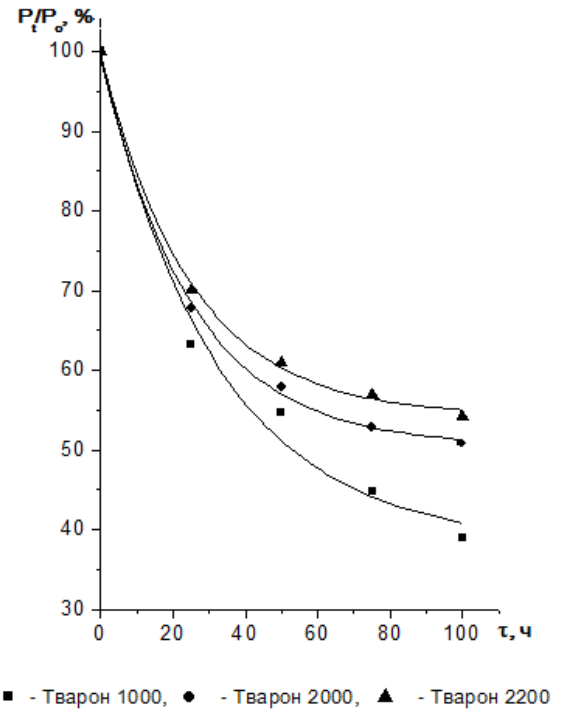


Рисунок 7 – Изменение показателя относительной разрывной нагрузки после нагрева при температуре 250 °С в фиксированном состоянии

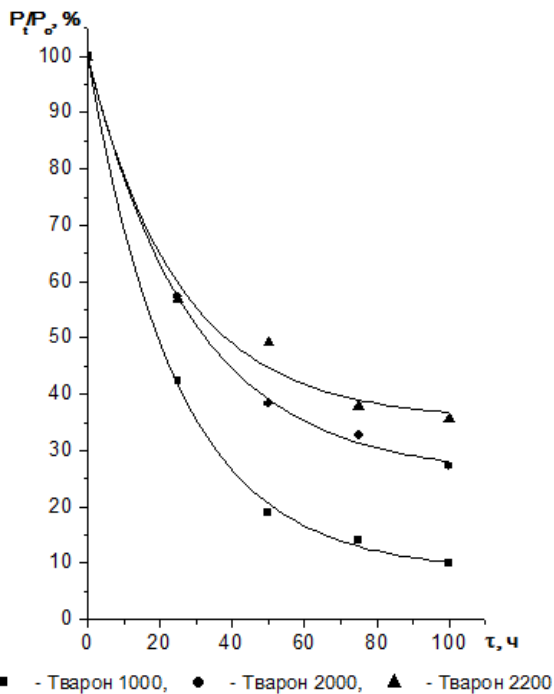


Рисунок 8 – Изменение относительной разрывной нагрузки после нагрева при температуре 275 °С в фиксированном состоянии

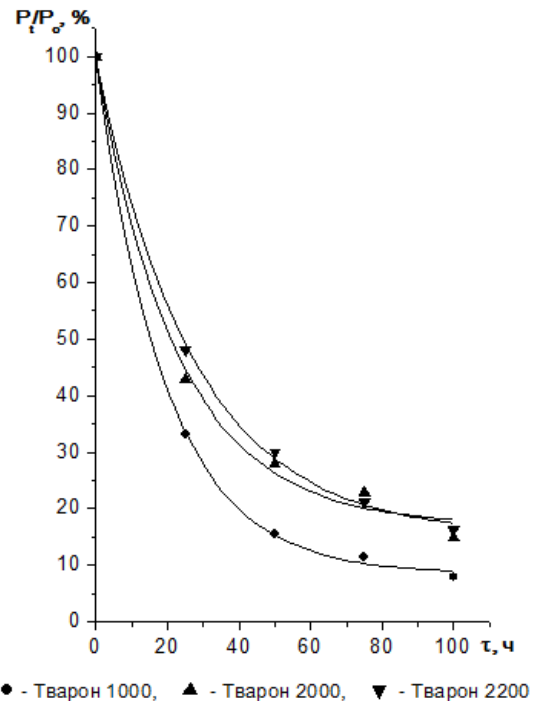


Рисунок 9 – Изменение относительной разрывной нагрузки после нагрева при температуре 300 °С в фиксированном состоянии

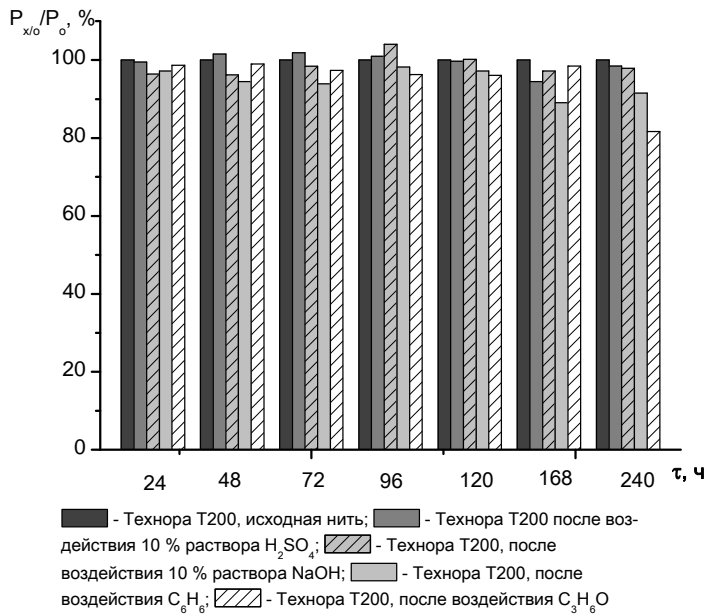


Рисунок 10 – Изменение показателя относительной разрывной нагрузки для нити Технора Т200 под воздействием агрессивных сред при разном времени воздействия

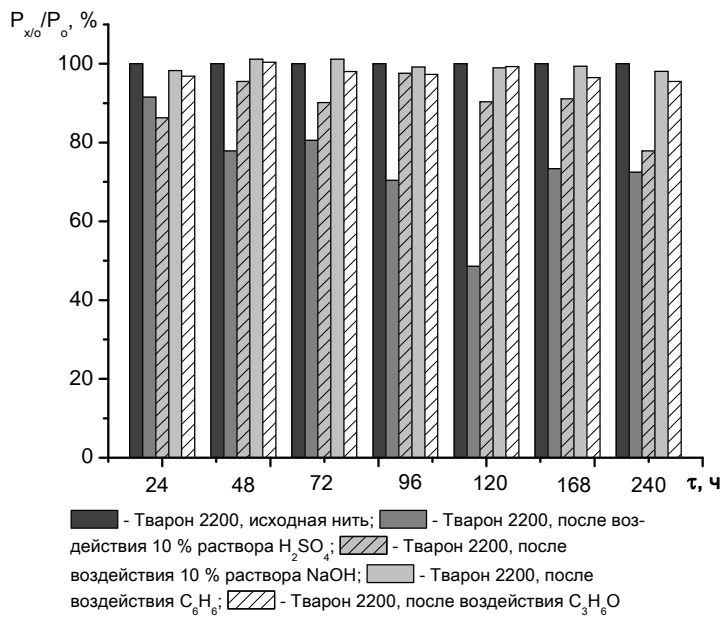


Рисунок 11 – Изменение показателя относительной разрывной нагрузки для нити Тварон 2200 при воздействии разных агрессивных сред

На рисунках 10 и 11 представлены зависимости показателя относительной разрывной нагрузки нитей Технора Т200 и Тварон 2200 от времени воздействия агрессивной среды.

Мы получили, что нить Технора Т200 сохраняет свои механические характеристики лучше, чем нити группы Тварон.

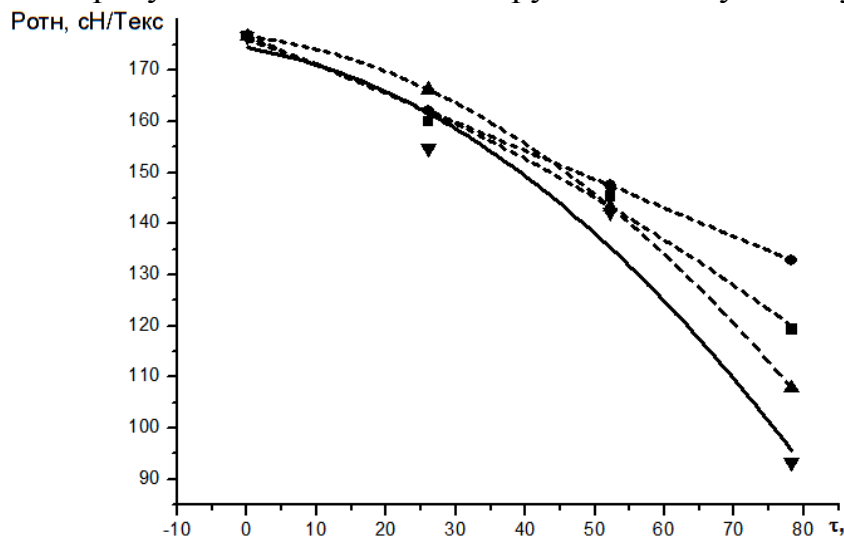
Проведено исследование совместного воздействия агрессивной среды и температуры на нить Технора Т200.

Термосостаренные нити (температура 300⁰, время нагрева 25 ч) подвергались действию 10 % растворов H₂SO₄ и NaOH, C₆H₆ (бензола) и C₃H₆O (ацетона) в течение 25, 50 и 75 часов. При воздействии агрессивной среды в течение 75 ч потеря прочности при действии органических растворителей составила 50% (рисунок 12).

Тем самым, время надежной эксплуатации при суммарном воздействии температуры и агрессивной среды ниже, чем при отдельном термическом или химическом воздействии.

В пятой главе рассматриваются результаты исследования влияния ионизирующего излучения на механические свойства параарамидных нитей. Образцы волокон в свободном состоянии помещались в поток тепловых нейтронов, который генерируется при работе реактора ПИЯФ. Интенсивность

потоков составила $1 \cdot 10^7 \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ при времени воздействия 23 часа (суммарный поток $8 \cdot 10^{11} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2}$) и при том же времени воздействия – поток $1,8 \cdot 10^9 \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ (суммарный поток $1,4 \cdot 10^{14} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2}$). Рисунок 13 иллюстрирует характер измерения относительной разрывной нагрузки для нитей Технора Т200 и Тварон 2200, подвергнутых действию ионизирующего излучения указанной интенсивности.



■ В – 10 % раствор H_2SO_4 , ● С – 10 % раствор NaOH ,

▲ D – $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ (ацетон), ▼ E – C_6H_6 (бензол)
Рисунок 12-Зависимость разрывной нагрузки от времени воздействия агрессивной среды на термосостаренную нить

Данные, представленные на рисунке 13, показывают, что прочностные свойства нити Технора Т200 практически не изменились. Нить Тварон 2200 под воздействием потока $1,4 \cdot 10^{14} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2}$ значительно теряет прочностные свойства.

Микроскопические исследования структуры поверхности нити после облучения показали, что при воздействии суммарного потока $8 \cdot 10^{11} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2}$ приводит к упрочнению структуры нити (количество микротрещин на поверхности волокна сокращается).

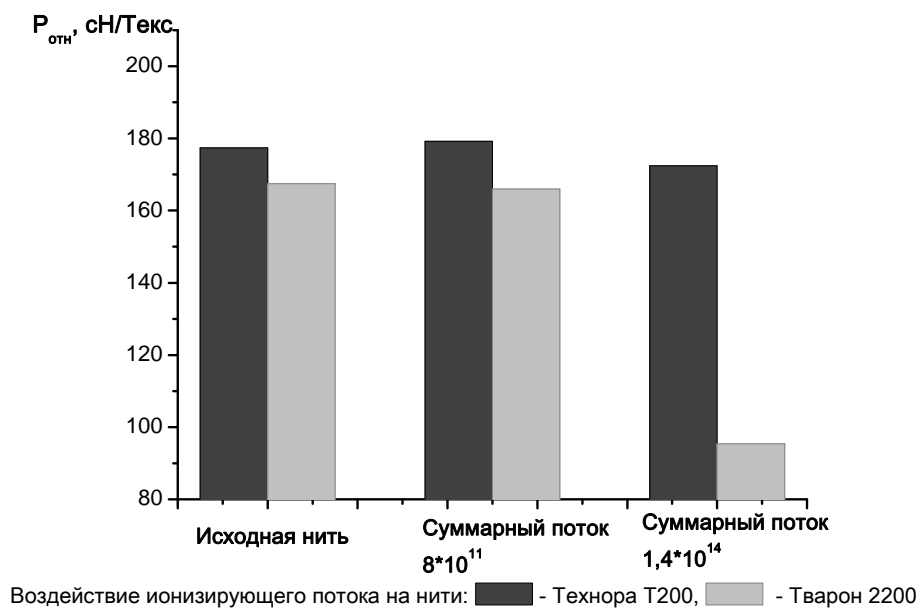


Рисунок 13 – Изменение относительной разрывной нагрузки после действия ионизирующего излучения

Выводы и практические рекомендации.

1. На основе усовершенствованных и разработанных методик получены данные по определению термических характеристик параарамидных нитей методами ТГА и ДТА до и после химического воздействия, хемостойкости нитей до и после термического воздействия.

2. Для исследованных параарамидных нитей впервые определены границы начала термического разложения в среде воздуха ($T_1, ^\circ\text{C}$ –430-470 $^\circ\text{C}$), в среде азота ($T_1, ^\circ\text{C}$ – 450-520 $^\circ\text{C}$), при этом потеря массы составляет 7-10 %. Это свидетельствует о том, что данные нити могут эксплуатироваться в условиях повышенных температур.

3. Подтверждено, что параарамидные нити обладают не только высокими термическими характеристиками, но и хемостойкостью. Обработка в течение 24 ч 10% растворами H_2SO_4 и NaOH нитей Технора Т200 и Тварон 2200 не приводит к существенным изменениям их теплостойкости, как в среде воздуха, так и в среде азота. Потеря массы становится меньше на 30% и более. Получены данные о том, что при воздействии на мета-параарамидную нить 10 % раствора H_2SO_4 , при определенном времени воздействия, прочность нити увеличивается. Это объясняется изменением характера поверхности нити при воздействии агрессивной среды: уплотнению поверхности нити, структурной модификации волокна. Полученные результаты подтверждены проведенными исследованиями с помощью ИК-спектроскопии.

4. Получена аналитическая зависимость изменения относительной разрывной нагрузки от температуры при кратковременном воздействии для всех исследованных параарамидных нитей, имеющая вид:

$$P_{ts} / P_0 = A + B_1 t + B_2 t^2$$

5. В результате изучения влияния длительного воздействия высоких температур на сохранение прочностных характеристик параарамидных нитей в фиксированном и свободном состоянии, установлено, что наиболее термостойкой является нить Технора Т200, сохраняющая 80% прочности при температурах до 300 $^\circ\text{C}$ до 60 ч. Группа нитей Тварон сохраняет 80% прочности при тех же температурах и времени термического воздействия до 20 ч.; 50% прочности – при 100 ч. нагрева и температурах до 275 $^\circ\text{C}$ и при 40 ч. нагрева при температурах до 300 $^\circ\text{C}$.

6. Исследованные параарамидные нити в порядке возрастания термостойкости располагаются следующим образом: Тварон 1000, Тварон 2000, Тварон 2200, Технора Т200. Получены аналитические зависимости, описывающие влияние времени нагрева (до 300 $^\circ\text{C}$ в пределах 100 ч) на относительную разрывную нагрузку параарамидных нитей, что позволяет прогнозировать поведение этих нитей в фиксированном и свободном состояниях.

7. Впервые получены результаты по воздействию ионизирующего излучения на прочностные свойства нити Технора Т200 и Тварон 2200. Прочностные свойства нити Технора Т200 при потоке $1,4 \cdot 10^{14}$ п.см $^{-1}$ (тепловые нейтроны, время воздействия 23 ч) прочностные свойства нити Технора Т200 практически не изменились, в то время как нить Тварон 2200 теряет значительно

прочностные свойства. Микроскопические исследования структуры нити после ионизирующего воздействия показали, что воздействие потока $8 \cdot 10^{11}$ п·см⁻¹ приводит к упрочнению поверхности нити (количество микротрещин на поверхности волокна сокращается).

8. Установлено время надежной эксплуатации при суммарном воздействии температуры и агрессивной среды – 30 ч при сохранении прочности 80%, что существенно ниже, чем при отдельном термическом или химическом воздействии.

Публикации, отражающие содержание работы

Статьи в журналах, входящих в перечень ВАК РФ

1. Басок, М. О. Сравнительная оценка термических свойств параарамидных нитей в воздушной и азотной средах / М. О. Басок, К. Е. Перепелкин, А. Б. Степанова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2012. – № 4 (Т. 14). – С 31-33.

2. Дянкова, Т. Ю. Изменение механических свойств параарамидных нитей после воздействия агрессивной среды / Т. Ю. Дянкова, А. Б. Степанова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2012. – №1 (Т. 15). – С. 22–26.

3. Мещерякова, Г. П. Изменение механических свойств параарамидных нитей после воздействия агрессивной среды / Г. П. Мещерякова, А. Б. Степанова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2012. – № 4. – С. 3–6.

4. Мещерякова, Г. П. Математические модели, описывающие механические свойства термосостаренных параарамидных нитей Г. П. Мещерякова, А. Б. Степанова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2012. – № 4 – С. 12–14.

Статьи в журналах и научных сборниках

5. Андреева, И. В. Термические свойства параарамидных нитей / И. В. Андреева, А. Б. Степанова, К. Е. Перепелкин // Сб. научных трудов по текстильному материаловедению. – Москва: Изд. МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2007. – С. 330 – 336.

6. Степанова, А. Б. Сравнительный анализ термических свойств гетероциклических и карбоциклических параарамидных нитей в среде воздуха и азота / А. Б. Степанова, К. Е. Перепелкин, М. О. Басок // Дни науки – 2007, сб. трудов аспирантов и докторантов, Выпуск 12/ СПГУТД – СПб., 2006. – С. 153-156.

7. Степанова, А. Б. Сравнительный анализ термических свойств параарамидных нитей в среде воздуха и азота / А. Б. Степанова, К. Е. Перепелкин, М. О. Басок // Технология текстильной промышленности. – Изд. Ивановский госуд. текстильной академии Известия высших учебных заведений - 2008. - №2 (306) – С.16 -17.

8. Басок, М. О. Изменение термических свойств параарамидных нитей после воздействия агрессивной среды / М. О. Басок, Т. Ю. Дянкова, А. Б. Степанова // Вестник. Естественные и технические науки – 2012. – №12. – С. 32–35.

9. Дянкова, Т. Ю. Влияние агрессивной среды и температуры на механические свойства параарамидных нитей / Т. Ю. Дянкова, Г. Г. Лебедева,

Г. П. Мещерякова, А. Б. Степанова // Дизайн. Материалы. Технология – СПб., 2013. – С. 48 – 50.

10. Лебедева, Г. Г. Изменение механических свойств параарамидных нитей после воздействия высоких температур / Г. Г. Лебедева, Г. П. Мещерякова, А. Б. Степанова // Вестник. Естественные и технические науки – 2013. – №3. – С. 17–20.

Материалы конференций и тезисы докладов

11. Степанова, А. Б. Температурная зависимость механических свойств высокопрочных, высокомодульных параарамидных нитей / А. Б. Степанова, О. Н. Столяров, К. Е. Перепелкин // Дни науки – 2006, тез. докл./ СПГУТД – СПб., 2006. – С. 78 – 79.

12. Степанова, А. Б. Температурная зависимость механических свойств высокопрочных параарамидных нитей / А. Б. Степанова, О. Н. Столяров, К. Е. Перепелкин // Прогресс – 2006, сб. матер., Ч.1/ ИГТА – Иваново, 2006. – С. 241–242.

13. Степанова, А. Б. Оценка термических характеристик параарамидных нитей / А. Б. Степанова, К. Е. Перепелкин, И. В. Андреева, М. О. Басок // Прогресс – 2007, сб. матер., Ч.1/ ИГТА – Иваново, 2007. – С. 85.

14. Степанова, А. Б. Влияние агрессивных сред и температуры на механические свойства параарамидных нитей / А. Б. Степанова // Дни науки – 2013, тез. докл./ СПГУТД – СПб., 2013. – С. 80 – 81.

15. Мещерякова, Г. П. Изменение механических свойств параарамидных нитей при воздействии высоких температур / Г. П. Мещерякова, А. Б. Степанова // VIII Международная конференция «Математическое моделирование в образовании, науке и производстве» / Приднестровский университет – Тирасполь, 2013 г. – С. 83–84.

16. Мещерякова, Г. П. Изменение механических свойств параарамидных нитей при воздействии ионизирующего излучения / Г. П. Мещерякова, А. Б. Степанова // VI Всероссийская Каргинская конференция – Полимеры — 2014, тез. докл. / МГУ – М., 2013. Т II. – С. 831.

Подписано в печать .02.2013. Печать трафаретная.

Усл. печ. л. 1,0. Формат 60 × 84 1/16. Тираж 100 экз. Заказ № 57

Отпечатано в типографии СПГУТД

191028, Санкт-Петербург, ул. Моховая, д.26