

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НА ОСНОВЕ АРАМИДНЫХ ВОЛОКОН

Науман Дмитрий Сергеевич dima_nau@list.ru
Овечкин Сергей Владимирович sergei260895@mail.ru
Андрухова Ольга Витальевна oval17@yandex.ru
Науман Людмила Владимировна luda_nau@mail.ru

Аннотация:

В статье представлена информация, связанная с исследованием физических и механических характеристик арамидного СВМ волокна, применяемого для изготовления оптических кабелей и кабелей ЛЭП, арамидной бумаги Nomex в приборостроении и электротехнике. Приведены результаты испытания на растяжение и на разрыв арамидных нитей и полосок из арамидной ткани, определены максимальная разрывная нагрузка, определяющая прочность ткани, модуль Юнга и максимальное напряжение при растяжении (упругие свойства). Исследовано влияние лазерного излучения на физико-механические характеристики испытуемых СВМ волокон и проанализирована возможность его использования для модификации арамидных волокон и тканей.

Ключевые слова: арамидное волокно, оптический кабель, модификация, лазерное излучение.

Волоконно-оптические линии связи сегодня прокладывают повсеместно. Благодаря оптическому кабелю (ОК), стала возможна передача информации на большие расстояния на высоких скоростях. Качество передачи данных в оптоволокне вне всяких сомнений находится на высочайшем уровне, поэтому производители всё время ведут работы по развитию технологий изготовления своих изделий, в том числе и производство облегченного ОК с использованием арамидных волокон и нитей, армирующих конструкцию. Преимущество арамидов по сравнению другими типами волокон обусловлено тем, что, при высоких прочностных и упругих характеристиках и отличной ударной вязкости они проявляют хорошие диэлектрические свойства, обладают химической стойкостью и высокими теплоизоляционными свойствами [1].

Современные электрические провода высоковольтных линий электропередач представляют собой стальной сердечник с навитым на него алюминиевым проводником. Одним из недостатков такого провода является возможное его сильное провисание в определенных климатических условиях и при определенных режимах эксплуатации. Кроме того, стальной сердечник такого провода подвержен коррозии. Преимущество внутреннего несущего элемента, армированного арамидным волокном, в том, что он обладает высокой устойчивостью к коррозии и хрупкому излому при наличии растягивающего напряжения.

Прокладка оптического кабеля на высоковольтных линиях электропередач, на опорах железных дорог или рядом с ними приводит к выходу его из строя.

Как показали исследования, одна из причин нарушения связи является электротермическая деградация оптического кабеля, которая заключается в разрушении оболочки оптического кабеля из-за протекания токов по загрязнённой поверхности его оболочки. [2]. Уникальные свойства арамидных нитей позволяют их применение в производстве подвесных ОК, усиливая их конструкцию и сохраняя при этом небольшую массу кабеля [3].

Кроме того, арамидные бумаги Nomex высокой прочности используются в качестве межслойной, пазовой, фазовой электроизоляции в приборостроении и электротехнике. Материал отличается высокой диэлектрической прочностью, механической жёсткостью, но при этом гибкостью и эластичностью. Арамидная бумага не расслаивается, проста в обработке (при подготовке к использованию) и выпускается в различных модификациях по толщине и дополнительным качествам.

1. Арамидные нити разрешены для подвеса на ЛЭП 35 кВ и выше «ФСК ЕЭС», стеклонити запрещены.

2. Кабель на арамидных нитях меньше в диаметре и легче в сравнении со стеклонитями.

3. Стеклонити обладают меньшим запасом на разрыв. У арамидных нитей двухкратный запас прочности на разрыв по отношению к максимально допустимым нагрузкам.

4. Кабели с арамидными нитями за счет более низкого коэффициента температурного расширения меньше подвержены влиянию температур (растяжению и сжатию).

5. Арамидные нити обладают лучшими механическими свойствами при растяжении через систему «зажим-оболочка-нити».

6. Максимальные нагрузки для кабелей со стеклонитями: не более 15 кН, у арамидных нитей ограничений практически нет.

Разработка и усовершенствование методов модификации физико-механических и поверхностных свойств арамидных волокон, в настоящее время, является перспективной технологической задачей [4].

Известно, что одним из факторов, влияющих на физико-механические свойства синтетических волокон арамидного типа, является воздействие электромагнитного излучения (ультрафиолет, рентгеновское излучение и γ -кванты)[5]. И если радиационные способы модификации изучены достаточно хорошо, то влияние электромагнитного излучения с более низкой энергией на характеристики арамидов практически не исследовалось.

В данной работе рассматривается влияние электромагнитного излучения видимого диапазона на свойства пара-aramидного волокна. Практическое применение результатов исследования подразумевает, что полученные результаты могут быть использованы при разработке мало затратного и сравнительно недорогого способа модификации арамидного волокна с помощью лазерного излучения.

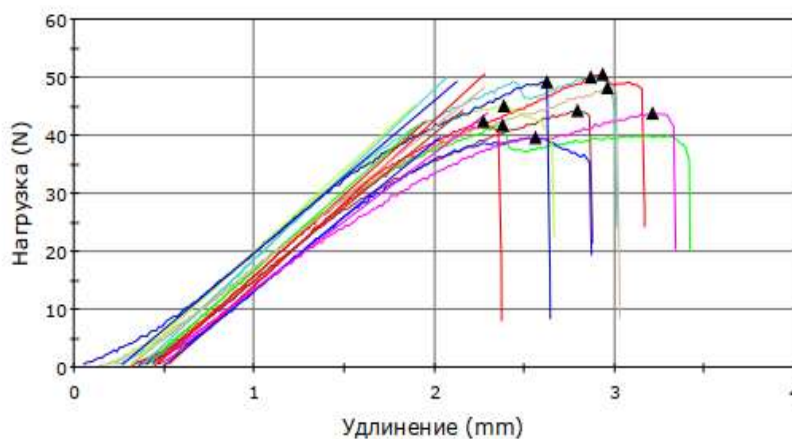
Одной из задач, решаемых материаловедами, при модификации арамидных волокон, является сохранение или улучшение их механических, а именно упруго-прочностных свойств.

Для изучения влияния электромагнитного излучения в спектральном диапазоне от 400 нм до 800 нм на свойства арамидов образцы (aramидные нити длиной

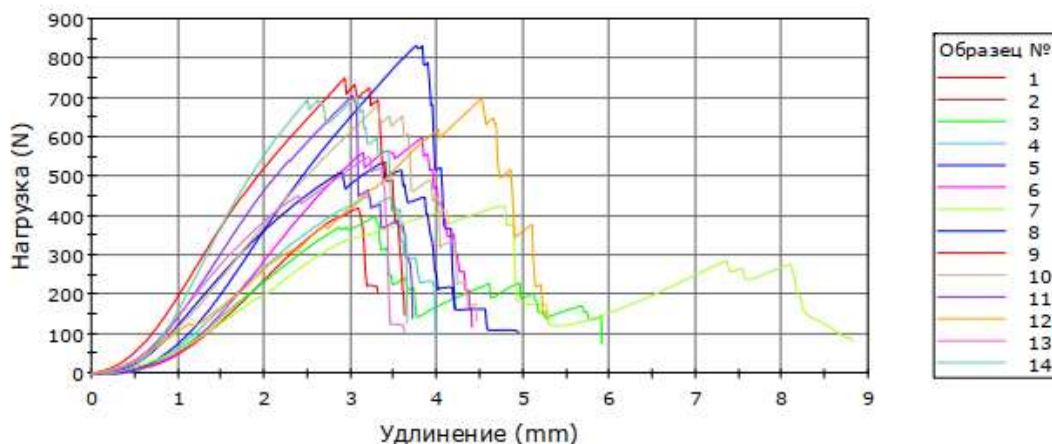
150 мм и полоски ткани 150мм×10мм×0,2 мм) облучались с помощью твердотельных полупроводниковых лазеров с выходной мощностью излучения, достигающей в режиме непрерывной генерации 300 мВт и 500 мВт. Генерация когерентного излучения для них может проходить в видимой $\lambda_1 = 532 \pm 10$ нм, интенсивностью $I = 3,85 \cdot 10^5$ Вт/м² и $\lambda_2 = 410 \pm 10$ нм, интенсивностью $I = 6,35 \cdot 10^5$ Вт/м² соответственно и в инфракрасной области. Время экспозиции τ (продолжительность облучения) варьировалась от 10 до 300 с. При этом лазер равномерно перемещался вдоль образца на расстоянии 150 мм от него со скоростью порядка 1,5 мм/с.

Для анализа влияния ЛИ на упруго-прочностные характеристики облученных образцов с помощью испытательной машины INSTRON определялась разрывная нагрузка. В автоматическом режиме определены максимальная разрывная нагрузка, определяющая прочность ткани, модуль Юнга и максимальное напряжение при растяжении (упругие свойства).

В качестве контрольных образцов использовались нити и полоски, не подвергавшиеся лазерному воздействию. На рисунке 1 (а и б) показаны графики зависимости нагрузки на необлученные образцы от его удлинения.



а



б

Рисунок 1 – Зависимость нагрузки на образцы нитей (а) и ткани (б) от удлинения

На рисунке 2 (а-г) показаны зависимости нагрузки на облученные образцы от удлинения.

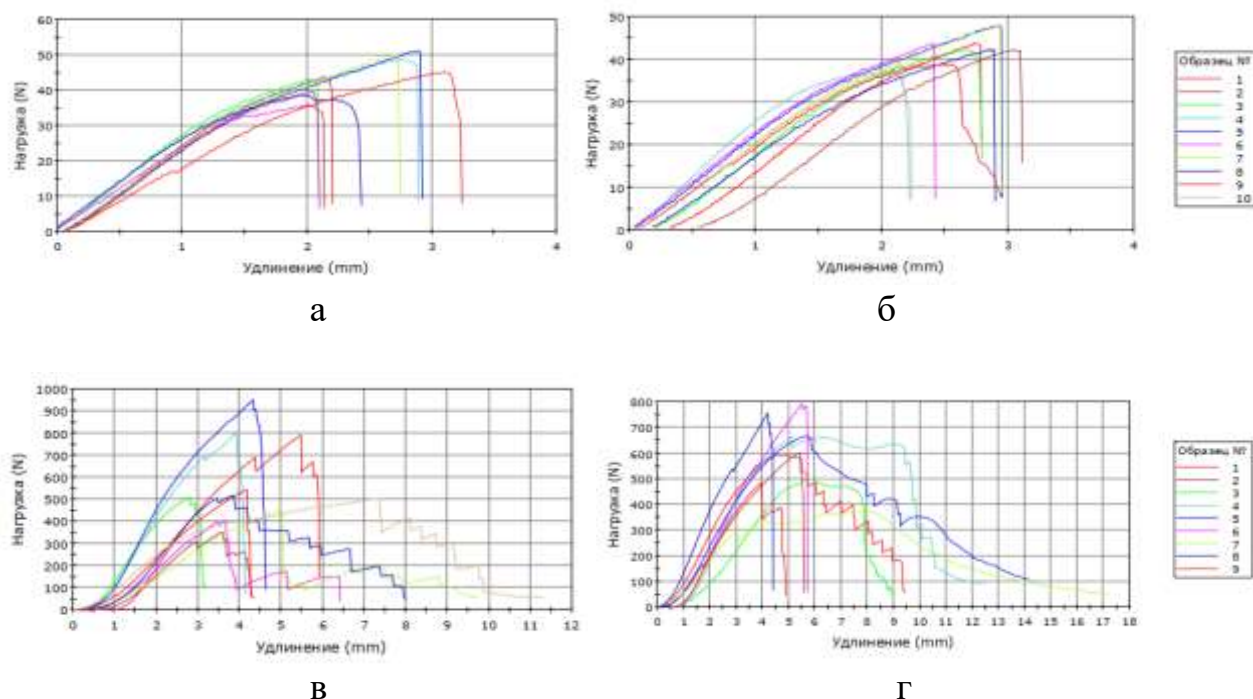


Рисунок 2 – Зависимость нагрузки от удлинения: нитей (а – $\lambda_1 = 532$ нм, б - $\lambda_2 = 410$ нм); полосок тканей (в - $\lambda_1 = 532$ нм, г - $\lambda_2 = 410$ нм).

Для большей наглядности влияния лазерного облучения на характеристики арамидных нитей и тканей средние значения фиксируемых в эксперименте параметров были сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Средние значения механических характеристик арамидной нити и полосок ткани при разрыве

Тип образцов		Нагрузка (Н)	Модуль Юнга (ГПа)	Напряжение при растяжении
Нить	без облучения	45,57	238,4	5,8 ГПа
	$\lambda_1 = 532$ нм	44,00	230,0	5,6 ГПа
	$\lambda_2 = 410$ нм	42,42	208,1	5,4 ГПа
Ткань	без облучения	553,8	6,8	276,9 МПа
	$\lambda_1 = 532$ нм	607,5	6,0	303,7 МПа
	$\lambda_2 = 410$ нм	603,9	4,9	301,9 МПа

На основании данных таблицы 1 была построена диаграмма, представленная на рисунке 3.

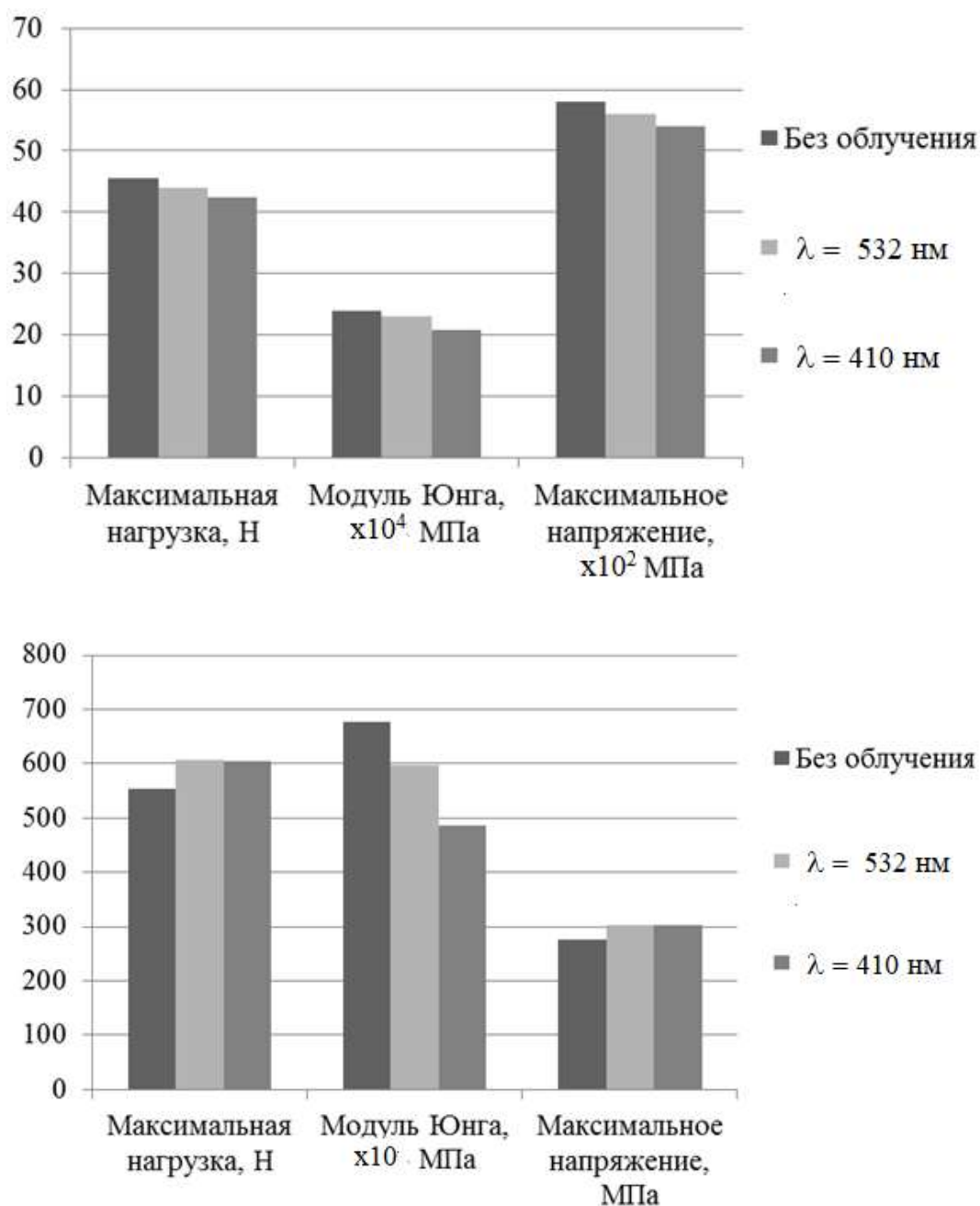


Рисунок 3 – Диаграмма упруго-прочностные характеристики нитей (а) и ткани (б) до и после облучения

Таким образом, из полученных результатов следует, что под воздействием электромагнитного излучения упруго-прочностные характеристики арамидного волокна снижаются. Облучение образцов лазером с длиной волны $\lambda_1 = 532$ нм привело к снижению фиксируемых параметров не более чем на 3,4%. При облучении образцов с $\lambda_2 = 410$ нм максимальная нагрузка, выдерживаемая нитью, уменьшилась на 6,9 %, модуль Юнга - на 13%, максимальное напряжение нити - 6,9%.

Облучение образцов лазером с длиной волны когерентного излучения $\lambda_1 = 532$ нм привело к тому, что максимально выдерживаемая при разрыве нагрузка и максимальное напряжение в образце возросло на 10 – 12%, тогда как модуль упругости (модуль Юнга) уменьшился на 12%. При облучении с $\lambda_2 = 410$ нм максимальная нагрузка и максимальное напряжение ткани возросли на 9%, а модуль Юнга понизился на 28%.

По-видимому, снижение прочностных характеристик отдельных арамидных нитей и их рост в случае воздействия на образцы тканей обусловлен тем, что под действием электромагнитного излучения наблюдается разрушение ковалентных связей между поверхностными атомами волокон и приводит к образованию поверхностных радикалов, в тканевом образце под воздействием лазерного излучения ковалентные связи частично восстанавливаются между поверхностными атомами соседних нитей. В результате чего прочность заметно возрастает, но упругость образца снижается.

Заключение

Экспериментально установлено, что удлинение арамидных нитей под нагрузкой невелико и составляет 3-4%. При этом установлено, что в результате воздействия электромагнитного излучения прочность на разрыв уменьшается не более, чем на 3% для одиночных нитей, при этом возрастают их упругие свойства; в образцах ткани при облучении возрастают прочность на разрыв и упругость материала.

Учитывая характер влияния лазерного излучения на арамидные волокна и ткани, представляется возможной разработка мало затратной и сравнительно недорогой методики и технологии модифицирования арамидного волокна с помощью лазерного излучения.

По-видимому, такой метод модификации волокон и готовых изделий, в том числе и после длительной эксплуатации, позволит не только улучшить необходимые характеристики оптических кабелей и других материалов, используемы в энергетике, но и продлить сроки службы последних.

Список используемой литературы

1. Маннанов, Э. Р. О диэлектрических материалах с высокой тепло-проводностью для систем электрической изоляции высоковольт-ных электрических машин: обзор отечественной и зарубежной литературы / Э. Р. Маннанов // *Материаловедение. Энергетика.* – 2021. – Т. 27, № 4. – С. 42-67. – DOI 10.18721/JEST.27404. – EDN SFPPJQ.
2. К вопросу об электротермической деградации оптического кабеля / М. Н. Плут, С. П. Кривцов, О. А. Губская [и др.] // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки.* – 2020. – № 5. – С. 62-67. – EDN E1OMMS.
3. Кожаева, С. А. Усиление конструкций углеволоком в 21 веке / С. А. Кожаева // *Вопросы устойчивого развития общества.* – 2022. – № 8. – С. 1063-1066. – EDN WNVNJO.
4. Исследование микроструктуры однонаправленного органопластика на основе арамидных волокон Русар-НТ и эпоксидно-полисульфонового связующего / Е. Н. Каблов, Г. С. Кулагина, Г. Ф. Железина [и др.] // *Авиационные материалы и технологии.* – 2020. – № 4(61). – С. 19-26.

5. Увеличение экстремальных значений предела прочности органо-пластиков при обработке арамидного волокна многослойными углеродными нанотрубками / М. С. Шебанов, В. Б. Иванов, И. Г. Калинина [и др.] // Российский химический журнал. – 2021. – Т. 65, № 4. – С. 3-7.

Информация об авторах

Науман Д. С. – студент группы 5031503/10002, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», РФ, г. Санкт-Петербург.

Овечкин С. В. – аспирант АлтГТУ им. И.И. Ползунова, РФ, г. Барнаул

Андрухова О. В. – к.ф.-м.н., доцент кафедры физики АлтГТУ им. И.И. Ползунова, РФ, г. Барнаул.

Науман Л. В. – к.ф.-м.н., доцент кафедры физики АлтГТУ им. И.И. Ползунова, РФ, г. Барнаул.

Ссылка для цитирования

Науман, Д. С. Исследование физико-механических характеристик кабельных линий на основе арамидных волокон / Д. С. Науман, С. В. Овечкин, О. В. Андрухова, Л. В. Науман // Энерджинет. 2023. № 1. URL: <http://nopak.ru/231-3102> (дата обращения: 13.06.2023).

