

МРНТИ 64.31.29

Н.А. Аташикова<sup>1</sup> – основной автор, ©  
А.С. Рафиков<sup>2</sup>, К.З. Юнусов<sup>3</sup>,  
Э. Рамазан<sup>4</sup>, А.М. Азимов<sup>5</sup>



<sup>1</sup>Докторант, <sup>2</sup>Д-р хим. наук, <sup>3</sup>Канд, техн. наук, <sup>4</sup>PhD, ассоц. профессор, <sup>5</sup>PhD

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0006-9976-4845> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-0638-6296>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-9316-0895> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0003-2810-8294>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0002-1316-5854>



<sup>1,5</sup>Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова,  
Шымкент, Казахстан

<sup>2,3</sup>Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,  
Ташкент, Республика Узбекистан

<sup>4</sup>Университет Акдениз, Анталия, Турция

@

<sup>1</sup>[atashikova\\_nargi@mail.ru](mailto:atashikova_nargi@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/UTYN1912>

## МОДИФИКАЦИЯ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРНОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА В SMART ТЕКСТИЛЕ

**Аннотация.** В настоящее время умный текстиль занимает важное место в текстильной индустрии и находит применение в разных технических сферах, таких как медицина, архитектура, спорт и специальные одежды. В рамках этой идеи оптические волокна квалифицируются как пассивный умный текстиль и весьма интересны для освещения одежды, а также для контроля трения и давления в одежде. Целью данного исследования является определение возможности получения светоотражающего трикотажного полотна с повышенной механической прочностью. Получены три варианта хлопчатобумажных трикотажных полотен с внедрением полимерного оптического волокна в виде мононити полиметилметакрилата. В одном из вариантов оптическое волокно вводится в качестве уточной нити между петельными рядами, в двух других участвует в петлеобразовании. Обнаружено существенное возрастание физико-механических свойств полотна при введении полимерного оптического волокна.

**Ключевые слова:** трикотаж, плюшевое переплетение, полимерное оптическое волокно, уточная нить, прочность, стирание.



Аташикова, Н.А. Модификация трикотажного полотна с использованием полимерного оптического волокна в smart текстиле [Текст] / Н.А. Аташикова, А.С. Рафиков, К.З. Юнусов, Э. Рамазан, А.М.Азимов // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.139-147. <https://doi.org/10.55956/UTYN1912>

**Введение.** В течение нескольких лет SMART текстиль являлся быстро развивающейся технологией и его рынок расширялся. Оптические волокна могут быть включены в эти ткани в роли датчиков для разных целей, включая анализ положения, занятость сидений в автомобильном секторе и мониторинг конструкций в гражданском строительстве [1]. Однако в мире медицинского текстиля эти материалы представляют наибольший интерес. Умный текстиль

используется в различных мониторинговых и терапевтических применениях в области здоровья и благополучия, что позволяет включать измерение физиологических показателей в обыденную жизнь или конкретную деятельность [2].

Имеются разные методы создания SMART текстиля для благоприятных условий и здорового образа жизни [3]. Датчики, которые применяются в текстиле, могут быть произведены из пьезоэлектрических либо пьезорезистивных материалов [4]. Применение оптических волокон ввиду их сенсорных качеств открывает новые перспективы в сфере умного текстиля, но ему уделяется меньше внимания, нежели пьезорезистивному эффекту [5].

Известно, что сенсор, используемый на теле человека, должен быть не только удобным для продолжительного ношения, но и не затруднять его обычную жизнедеятельность. По мнению авторов [6], для этих целей прекрасно подходят волоконно-оптические полимерные датчики. Полимерные волоконно-оптические сенсоры обладают высокой гибкостью при изгибе и выдерживают большие деформационные нагрузки. В качестве полимерных оптических волокон часто применяют полидиметилсилоксан, полиметилметакрилат, мягкое стекло, полиперфторбутенилвинил и др. [7,8]. Установлено, что полимерные оптические волокна, изготовленные из этих материалов, обладают отличной биосовместимостью и коррозионной стойкостью, а изначальные характеристики сохраняются даже после долгого использования. Авторы работы [9] свидетельствуют об удовлетворительном применении полимерных оптических волокон для мониторинга сердечного ритма и кровотока. Показано, что коэффициент оптического трения ткани с ПОВ значительно ниже, чем у традиционного медицинского белья.

Авторы [10] сообщили о вмонтированном в спортивную одежду оптоволоконном сенсоре, дающем возможность отслеживать движение локтевого сустава человека по перемещению туловища. Эта бесконтрольная система мониторинга в реальном времени была апробирована для удачного отслеживания ударов в гольфе.

В работе [11] показана возможность использования полимерных волоконно-оптических датчиков для мониторинга и контроля сгибания суставов пальцев, кистей и коленей. По убеждению авторов, именно этот сенсор будет повсеместно использоваться в некоторых видах спорта, лечении суставов и мониторинге тремора при болезни Паркинсона.

Авторы труда [12] доложили об успешном применении полимерных оптических волокон для полноценного наблюдения за температурой тела, пульсом и частотой дыхания. Вероятность использования полимерных оптических волокон для регулировки температуры тела, дыхания и частоты сердечных сокращений подтверждена этими авторами в ином труде [13].

На данный момент при помощи оптических волокон можно контролировать спектр физиологических показателей, включая давление, пульс, пульсоксиметрию и частоту дыхания [14]. Фактически, некоторые полимерные оптические волокна (ПОВ) обладают рядом полезных свойств, таких как высокая гибкость, что упрощает интеграцию в текстильные изделия [15]. ПОВ могут быть включены в текстильные изделия путем ткачества, строчки и вышивки, что продемонстрировали некоторые исследования [16]. Но лишь незначительное количество исследований [17] посвящено включению ПОВ в трикотажные архитектуры.

Целью данного исследования является определение возможности получения светоотражающего трикотажного полотна с повышенной механической прочностью.

**Условия и методы исследований.** В исследованиях использована хлопковая пряжа с линейной плотностью 20 текс и оптическое волокно – мононить диаметром 0,25 мм из полиметилметакрилата.

Текстиль – это трехмерная форма, созданная путем вязания петель. Петли пряжи, составляющие трикотажное полотно, соединяются между собой. Трикотажное переплетение это порядок расположения, а повторяющаяся часть трикотажного переплетения называется раппортом. Вид трикотажного переплетения заметно влияет на его структуру, характеристику и внешний вид полотна.

Для достижения цели получены три варианта полотен с полимерным оптическим волокном:

1. Оптическое волокно внедряется в структуру трикотажного переплетения в виде уточной нити (рис. 1а).

2. Оптическое волокно участвует в петлеобразовании полотна в простом переплетении (рис. 1б).

3. Оптическое волокно участвует в петлеобразовании полотна плюшевого переплетения (рис. 1с).

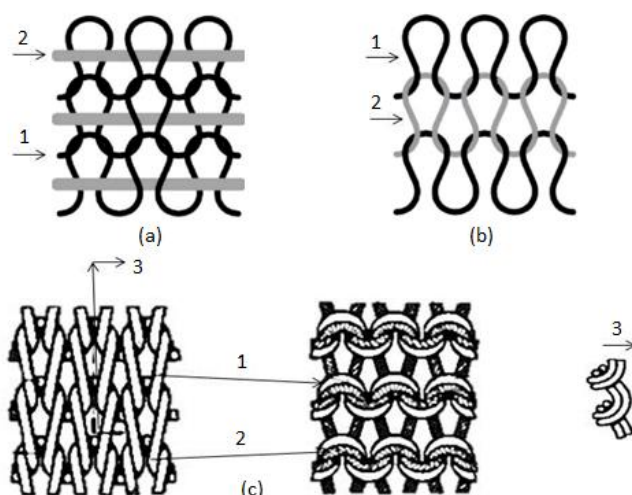


Рис. 1. Примеры вязаной структуры: (а) простое переплетение с оптическим волокном в качестве уточной нити (1 – хлопковая пряжа, 2 – оптическое волокно); (б) оптическое волокно участвует в простом переплетении (1 – хлопковая пряжа, 2 – оптическое волокно); (с) оптическое волокно участвует в плюшевом переплетении (1 – оптическое волокно, 2 – хлопковая пряжа, 3 – плюшевый узел)

Исследования физико-механических свойств полученных материалов проведены в сертификационном центре «CENTEXUZ» Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, температура в помещении –  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ , относительная влажность воздуха –  $65 \pm 5\%$ .

Испытания устойчивости тканей к истиранию проводились на специальном приборе МТ-194. Пробу ткани в виде кружка диаметром  $(85 \pm 2)$  мм помещают между абразивными дисками прибора под давлением из расчета

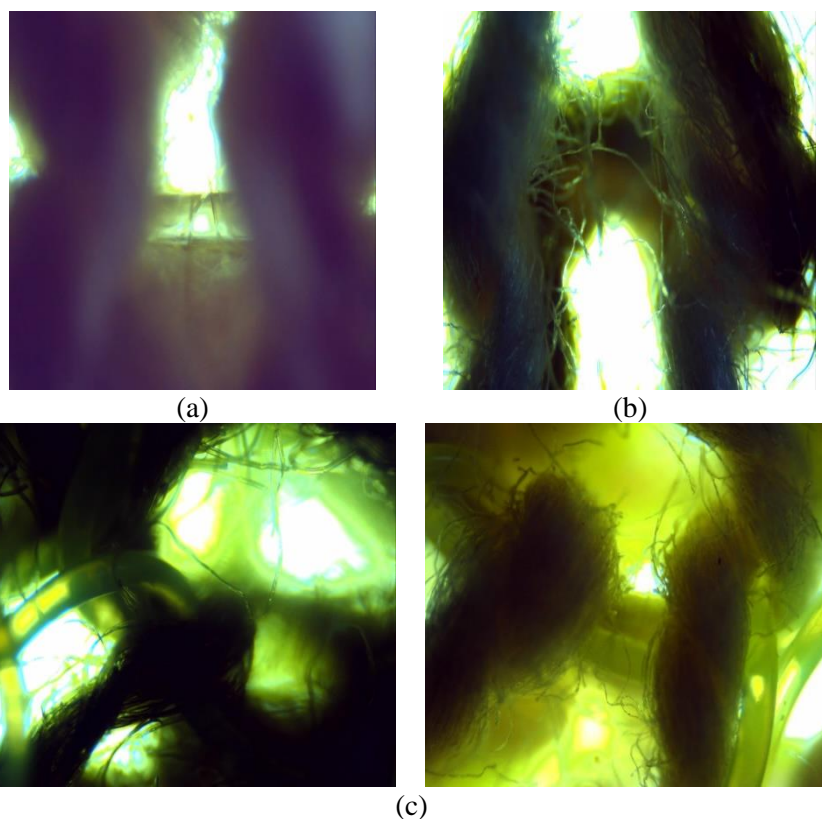
1 кгс/см. В плоскости касания пробы с абразивом они совершают планетарное движение. При появлении дыры на поверхности образца прибор автоматически останавливается, снимают показания счетчика количеством циклов на истирание.

Определение разрывной нагрузки и относительного удлинения образцов проводили на приборе АГ-1, предназначенном для измерения разрывных характеристик тканей, нитей и других текстильных изделий. При испытании тканей образцы по основе и утку режут в виде полос размером 300×50 мм.

Увеличенные изображения образцов полотен сняты цифрового usb микроскопа «Optika mikrosopes B-150».

Морфология поперечного сечения трикотажного полотна с ПОВ исследована с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6490 LV (Япония).

**Результаты исследований и их обсуждение.** В одном из вариантов модифицированного трикотажного полотна петлеобразующая основа изготовлена только из хлопчатобумажной пряжи. Оптическое волокно представляет собой мононить диаметром 0,25 мм с гладкой поверхностью. Оптическая нить в качестве уточной нити размещается между петельными рядами (рис. 2а). Уточная нить может подаваться в каждый петельный ряд или через определенный промежуток в соответствии с заданной программой.



(а) простое переплетение с оптическим волокном в качестве уточной нити; (б) оптическое волокно участвует в простом переплетении; (с) оптическое волокно участвует в плющевом переплетении.

Рис. 2. Увеличенные изображения полотен

Внедрение ПОВ в качестве петлеобразующего элемента вызывает некоторые затруднения (рис. 2b и 2c). По структуре и толщине ПОВ резко отличается от хлопковой пряжи (рисунок 3). Хлопковая пряжа состоит из пучка целлюлозных волокон, тогда как, ПОВ представляет очень толстую монолитную нить.

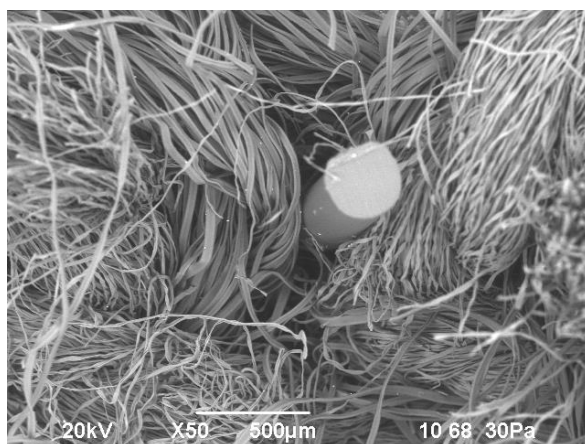


Рис. 3. Морфология поперечного сечения трикотажного полотна с полимерным оптическим волокном

Как видно из рисунка 3, нить хлопковой пряжи имеет диаметр примерно 400-500 мкм и состоит из множества целлюлозных волокон диаметром 14-18 мкм. В процессе вязания пряжа претерпевает растяжение вследствие тяги, изгиба и трения о металлические части машины [19]. Пряжа резко скручивается, создавая петлю на вязаном полотне. Длина стежка и толщина иглы определяют кривизну, которой подвергается пряжа в ходе работы. Но применение оптического волокна требует особого подхода к выбору иглы и способа вязания. ПОВ будучи существенно толстым и малоупругим затрудняет процесс формирования полотна. Поэтому первый вариант является более приемлемым по технологии изготовления трикотажного полотна. Еще одним плюсом полотна с уточной нитью является то, что во время процесса вязания нить испытывает меньшее напряжение и трение, нежели основная петлеобразующая пряжа. А по физико-механическим свойствам он уступает двум другим образцам (табл. 1).

Таблица 1

Физико-механические свойства трикотажных тканей с ПОВ

Образцы	Прочность к истиранию	Разрывная сила, Н		Удлинение, %	
		По ширине	По длине	По ширине	По длине
Полотно без ПОВ	16800	381	240	156	354
Полотно с ПОВ в качестве уточной нити	28500	более 1000	255	125	370
Полотно простого переплетения с ПОВ	более 35000	более 1000	более 1000	113	420
Полотно плюшевого переплетения с ПОВ	более 35000	более 1000	более 1000	85	550

Как видно из данных таблицы, все полотна с ПОВ имеют существенно высокие физико-механические свойства по сравнению с полотном без ПОВ. В случае внедрения ПОВ в качестве уточной нити оно размещается между петельными рядами почти прямолинейно вдоль ширины полотна. Отсюда прочность по ширине этого образца намного больше, чем по длине. ПОВ в виде уточной нити не оказывает влияние на разрывную прочность по длине. Как и ожидалось, когда ПОВ участвует в петлеобразовании как в случае простого, так и плющевого переплетения, прочность полотна многократно возрастает и по длине, и по ширине. Эти полотна не рвутся до предельной нагрузки разрывной машины.

Во всех вариантах с ПОВ относительное удлинение по ширине возрастает по сравнению с самым трикотажным полотном. Такой же показатель по ширине, наоборот снижается, но остается высоким, что характерно для трикотажных полотен.

Прочность к истиранию полотна с уточной нитью ПОВ в 1,7 раза больше, а в двух других вариантах в несколько раз больше, чем самого трикотажного полотна. Этого следовало ожидать, т.к. толстые нити синтетического полимера очень устойчивы к истиранию. Таким образом, достигнуто существенное увеличение механической прочности и прочности к истиранию с введением ПОВ в структуру трикотажного полотна.

Несколько лет назад начали производить электронный текстиль, часто известный как «умный текстиль», и некоторые из них предлагаются в настоящее время. Благодаря своим небольшим размерам и цилиндрической форме оптические волокна, применяемые в качестве датчиков в этой отрасли, обладают рядом преимуществ [25].

Тремя главными применениями оптических волокон являются передача данных, излучение света и зондирование. Оптические волокна представляют собой световоды, которые могут передавать световые сигналы на протяжении от нескольких сантиметров до многих километров. Используемое волокно зависит от применения; должен быть баланс оптических и механических свойств, что является предметом наших исследований оптических волокон в качестве датчиков [25-28]. Однако в зависимости от используемого основного полимера ПОФ могут быть в известной степени гибкими и податливыми [29].

В данной работе исследовано светоотражающее свойство ПОВ. На рисунке 4 видно отражение света при освещении трикотажного полотна с ПОВ в темное время суток. Отражающим элементом является именно ПОВ, которое имеет светлооранжевый цвет.



Рис. 4. Эффект светоотражения трикотажного полотна с ПОВ (лист 1)

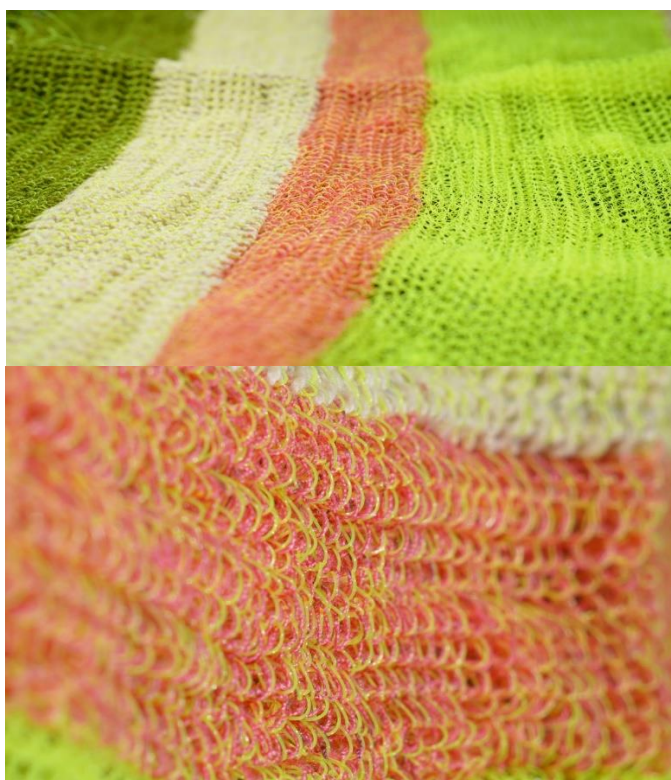


Рис. 4. Эффект светоотражения трикотажного полотна с ПОВ (лист 2)

При освещении в ночное время полученный материал высвечивается, поэтому можно использовать как защитный элемент специальной одежды.

**Заключение.** Получены трикотажные полотна с включением полимерного оптического волокна в виде мононити из полиметилметакрилата диаметром 0,25 мм. Технологически удобным способом введения полимерной нити в структуру полотна является закладывание его в петельные ряды в качестве уточной нити. Чрезмерная толщина и ограниченная упругость полимерной нити затрудняет процесс петлеобразования, поэтому процесс формирования полотна требует особого подхода к выбору его дизайна и технологических режимов, иглы трикотажного станка. Получены полотна простого и плющевого переплетения, в которых полимерная нить участвует в петлеобразовании в сочетании с хлопковой пряжей. Полученные полотна имеют высокую механическую прочность при растяжении, устойчивость к истиранию, и отличается светоотражающей способностью.

#### Список литературы

1. Bremer, K., Weigand, F., Zheng, Y., et al. Structural health monitoring using textile reinforcement structures with integrated optical fiber sensors // *Sensors*. – 2017. – Vol. 17. – P. 345.
2. Nag, A., Mukhopadhyay, S. C., Kosel, J. Wearable flexible sensors: A review // *IEEE Sensors Journal*. – 2017. – Vol. 17. – P. 3949-3960.
3. Makhlespour Esfahani, M. I., Taghinezhad, S., Mottaghitlab, V., et al. Novel printed body worn sensor for measuring the human movement orientation // *Sensor Review*. – 2016. – Vol. 36. – P. 321-331.

4. Afzal, A., Drean, J.-Y., Harzallah, O., et al. Development of multifunctional different cross-sectional shaped coaxial composite filaments for smart textile applications // *Textile Research Journal*. – 2017. – Vol. 87. – P. 1991-2004.
5. Yang, J.-H., Cho, H.-S., Lee, J. H. An analysis on the luminance efficiency of the machine embroidery method applied to flexible plastic optical fiber for realization of the textile display // *Textile Research Journal*. – 2018. – Vol. 88. – P. 1466-1478.
6. Zhao, Y., Lin, Z., Dong, S., et al. Review of wearable optical fiber sensors: Drawing a blueprint for human health monitoring // *Optics & Laser Technology*. – 2023. – Vol. 161. – P. 109227.
7. Leal-Junior, A. G., Marquez, C., Frizzera, A., et al. Dynamic mechanical analysis on a polymethyl methacrylate (PMMA) polymer optical fiber // *IEEE Sensors Journal*. – 2018. – Vol. 18, No. 6. – P. 2353-2361.
8. Liu, Z., Stephens, V. Exploring innovation ecosystem from the perspective of sustainability: Towards a conceptual framework // *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. – 2019. – Vol. 5. – P. 48.
9. Quandt, B. M., Braun, F., Ferrario, D., et al. Body-monitoring with photonic textiles: A reflective heartbeat sensor based on polymer optical fibres // *Journal of the Royal Society Interface*. – 2017. – Vol. 14, No. 128. – P. 20170060.
10. Koyama, Y., Nishiyama, M., Watanabe, K. Motion monitoring using hetero-core optical fiber sensors sewn into sportswear to trace trunk motion // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – 2013. – Vol. 62, No. 4. – P. 828-836.
11. Li, L., He, R., Soares, M. S., et al. Embedded FBG-based sensor for joint movement monitoring // *IEEE Sensors Journal*. – 2021. – Vol. 21, No. 23. – P. 26793-26798.
12. Nedoma, J., Fajkus, M., Martinek, R., et al. Non-invasive fiber-optic biomedical sensor for basic vital sign monitoring // *Advances in Electrical and Electronic Engineering*. – 2017. – Vol. 15, No. 2. – P. 336-342.
13. Fajkus, M., Nedoma, J., Martinek, R., et al. A non-invasive multichannel hybrid fiber-optic sensor system for vital sign monitoring // *Sensors*. – 2017. – Vol. 17, No. 1. – P. 111.
14. Leal-Junior, A. G., Díaz, C. R., Leitão, C., et al. Polymer optical fiber-based sensor for simultaneous measurement of breath and heart rate under dynamic movements // *Optics & Laser Technology*. – 2019. – Vol. 109. – P. 429-436.
15. Zeng, W. Polymer optical fiber for smart textiles // In: *Handbook of Smart Textiles* / Ed. by X. Tao. – Singapore: Springer, 2015. – P. 109-125.
16. Quandt, B. M., Pfister, M. S., Lubben, J. F., et al. POF-yarn weaves: Controlling the light out-coupling of wearable phototherapy devices // *Biomedical Optics Express*. – 2017. – Vol. 8. – P. 4316-4330.
17. Oscarsson, L., Jacobsen Heimdal, E., Lundell, T., et al. Flat knitting of a light emitting textile with optical fibres // *Autex Research Journal*. – 2009. – Vol. 9. – P. 61-65.

*Материал поступил в редакцию 22.09.25, принят 19.01.26.*

**Н.А. Аташикова<sup>1</sup>, А.С. Рафииков<sup>2</sup>, К.З. Юнусов<sup>2</sup>, Э. Рамазан<sup>3</sup>, А.М. Азимов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті,  
Шымкент, Қазақстан*

<sup>2</sup>*Ташкент тоқыма және жеңіл өнеркәсіп институты,  
Ташкент, Өзбекстан Республикасы*

<sup>3</sup>*Ақдениз университеті, Анталия, Түркия*

#### **SMART ТОҚЫМА БҰЙЫМДАРЫНДА ПОЛИМЕРЛІ ОПТИКАЛЫҚ ТАЛШЫҚТЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП ТОҚЫЛҒАН МАТАНЫ ӨЗГЕРТУ**

**Аңдатпа.** Қазіргі уақытта тоқыма өнеркәсібінде ақылды тоқыма маңызды орын алады және медицина, сәулет, спорт және арнайы киім сияқты түрлі техникалық

салаларда қолданылады. Осы тұжырымдама аясында оптикалық талшықтар пассивті ақылды тоқыма ретінде жіктеледі және киімді жарықтандыру үшін, сондай-ақ киімдегі үйкеліс пен қысымды бақылау үшін үлкен қызығушылық тудырады. Бұл зерттеудің мақсаты механикалық беріктігі жоғары жарық шағылыстыратын тоқылған матаны алу мүмкіндігін анықтау болып табылады. Полиметилметакрилат моножіп түріндегі полимерлі оптикалық талшықты енгізе отырып, мақта-мата тоқылған маталардың үш нұсқасы алынды. Нұсқалардың бірінде оптикалық талшық ілмек қатарлары арасында арқау жіп ретінде енгізіледі, қалған екеуінде ол ілмек түзілуіне қатысады. Полимерлі оптикалық талшықты енгізу кезінде матаның физика-механикалық қасиеттерінің айтарлықтай өсуі анықталды.

**Тірек сөздер:** трикотаж, жұмсақ тоқу, полимерлі оптикалық талшық, арқау жіп, беріктік, тозу.

**N.A. Atashikova<sup>1</sup>, A.S. Rafikov<sup>2</sup>, K.Z. Yunusov<sup>2</sup>, E. Ramazan<sup>3</sup>, A.M. Azimov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, Uzbekistan*

<sup>3</sup>*Akdeniz University, Antalya, Turkey*

#### **MODIFICATION OF KNITTED FABRIC USING POLYMER OPTICAL FIBER IN SMART TEXTILES**

**Abstract.** Smart textiles currently occupy an important place in the textile industry and are used in various technical fields such as medicine, architecture, sports and special clothing. Within the framework of this idea, optical fibers qualify as passive smart textiles and are very interesting for clothing lighting, as well as for controlling friction and pressure in clothing. The purpose of this study is to determine the possibility of obtaining a reflective knitted fabric with increased mechanical strength. Three variants of cotton knitted fabrics with the introduction of polymer optical fiber in the form of polymethylmethacrylate monofilament have been obtained. In one of the variants, an optical fiber is inserted as a weft thread between the loop rows, in the other two it participates in looping. A significant increase in the physico-mechanical properties of the web was found with the introduction of a polymer optical fiber.

**Keywords:** knitwear, plush weave, polymer optical fiber, weft thread, strength, abrasion.