

## Разработка оптимальных структур текстильных материалов с заданной стойкостью при проколе

П. Е. Сафонов<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>ООО «ТЕКС-ЦЕНТР», Российская Федерация

Н. М. Левакова<sup>1</sup>,

<sup>2</sup>Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина

С. И. Пивкина<sup>2</sup>

(Технологии. Дизайн. Искусство), Российская Федерация

**Аннотация.** Работа посвящена проектированию оптимальных структур, выбору сырьевого состава и разработке технологии изготовления современных материалов (тканей и трикотажных полотен) с заданной устойчивостью при проколе. Спроектированные материалы нашли применение при изготовлении защитной экипировки фехтовальщиков (куртки, набочки, воротники масок), так как соответствуют основным требованиям Международной Федерации фехтования (FIE) и обладают совокупностью таких полезных качеств, как гибкость, заданная поверхностная плотность, относительно малая толщина, устойчивость к многократным мокрым обработкам без ухудшения потребительских свойств.

Для изготовления тканей с сопротивлением проколу не менее 350 Н предложено использовать высокопрочные комплексные полиэфирные нити, а для изготовления трикотажных полотен с сопротивлением проколу не менее 800 Н – нити СВМПЭ (сверхвысокомолекулярный полиэтилен) в сочетании с высокоэластичными текстурированными нитями. Все спроектированные структуры тканей и трикотажа предложено изготавливать двухслойными переплетениями.

В рамках проведенной работы установлена взаимосвязь между круткой и показателями физико-механических свойств нитей СВМПЭ, определена оптимальная величина крутки для нитей СВМПЭ 44 и 66 текс.

Установлено, что оптимальное соотношение высот волн изгиба основы и утка в слоях ткани должно стремиться к 1, в противном случае нити основы и утка не будут участвовать в работе деформирования одновременно, что приведет к разрушению нитей одной из систем и вытягиванию и раздвижке без разрушения нитей другой системы.

Установлено, что из нитей СВМПЭ целесообразно вязать защитные трикотажные полотна, а не ткать традиционные ткацкие структуры, что обусловлено специфическим сочетанием свойств СВМПЭ – сверхвысокая прочность и низкий коэффициент трения.

**Ключевые слова:** защитные материалы, стойкость при проколе, двухслойные переплетения, СВМПЭ.

**Информация о статье:** поступила 5 февраля 2026 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2025)», которая состоялась 18–19 ноября 2025 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

## Development of optimal structures of textile materials with preset puncture resistance

Pavel E. Safonov<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>TEKS-CENTRE Ltd., Russian Federation

Natalia M. Levakova<sup>1</sup>,

<sup>2</sup>A.N. Kosygin Russian State University (Technology, Design, Art),

Svetlana I. Pivkina<sup>2</sup>

Russian Federation

**Abstract.** The research is devoted to the design of optimal structures, the choice of raw materials and the development of manufacturing technology for contemporary materials (fabrics and knitted fabrics) with preset puncture resistance. The designed materials are applied in the manufacture of protective equipment for fencers (jackets, side pads, mask collars), as they meet the basic requirements of the International Fencing Federation (FIE) and possess a set of useful qualities such as flexibility, specified surface density, relatively small thickness, resistance to repeated wet treatments without deterioration of consumer properties.

For the manufacture of fabrics with a puncture resistance of at least 350 N, it is proposed to use high-strength polyester threads, and for the manufacture of knitted fabrics with a puncture resistance of at least 800 N, UHMWPE (Ultra high

molecular weight polyethylene) threads in combination with highly stretchable textured yarns. All the designed structures of fabrics and knitwear are proposed to be made with two-layer weaves.

As part of the work carried out, the relationship between the twist and the indicators of the physical and mechanical properties of UHMWPE threads was determined, and the optimal amount of twist for UHMWPE threads 44 and 66 tex was calculated.

It has been found that the optimal ratio of the bending wave heights of the warp and weft in the fabric layers should tend to 1, otherwise the warp and weft threads will not participate in the deformation process at the same time, which will lead to the destruction of the threads of one of the systems and stretching and sliding without destroying the threads of the other system.

It has been established that it is advisable to knit protective knitted fabrics from UHMWPE threads rather than weaving traditional weaving structures, which is due to a specific combination of UHMWPE properties – ultra-high strength and low coefficient of friction.

**Keywords:** protective materials, puncture resistance, double-layer weaves, UHMWPE.

**Article info:** received February 5, 2026.

The article summarizes the research materials presented at the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation" (ICTAI-2025), held on November 18–19, 2025 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

### Введение

Актуальность исследования обусловлена необходимостью импортозамещения современных текстильных материалов, применяемых в защитной экипировке спортсменов фехтовальщиков (Сафонов, Левакова, Юхин, Пивкина и Фомина, 2025). Материалы фехтовальных костюмов (куртка, набочник) должны обеспечивать заданную устойчивость при проколе в совокупности с такими свойствами, как легкость движений, необходимых для занятий фехтованием (что предполагает хорошую драпируемость ткани при сравнительно малой толщине и поверхностной плотности), устойчивость к многократным мокрым обработкам (стирки), при этом верх экипировки должен быть белого или светлого цвета.

Требования, предъявляемые к материалам фехтовальной экипировки, регламентированы Международной Федерацией фехтования (Federation Internationale d'Escrime, далее FIE), а также Международной Федерацией спорта инвалидов-колясочников и ампутантов (International Wheelchair and Amputee Sports Federation, далее IWAS)<sup>1</sup>. Российская Федерация в приказе Минспорта № 873 от 30.11.2020 г. полностью признает, что требования к экипировке, соответствующей регламенту FIE, являются обязательными.

<sup>1</sup> Международные правила проведения соревнований по фехтованию (elpn.ru): <https://elpn.ru/f/pravilapofekhtovaniyu.pdf?ysclid=lu9fipe5dz702476012> (дата обращения 17.12.2025).

### Аналитический обзор

При анализе литературных источников, посвященных вопросам создания материалов с повышенным сопротивлением при проколе, установлено, что в соответствии с регламентом FIE одежда спортсмена должна быть сделана из ткани, имеющей сопротивление проколу 800 Н (350 Н для детско-юношеского разряда и тренировочных костюмов), при этом особое внимание должно быть уделено выполнению швов в области подмышечной впадины, при их наличии. Данное требование распространяется на соревнования во всех видах оружия. При этом снаряжение и одежда спортсмена не должны содержать какие-либо петли или отверстия, при попадании в которые конец оружия соперника мог бы быть задержан или отклонен. Материал, из которого выполняется снаряжение, не должен иметь скользкой поверхности, которая могла бы вызвать скольжение наконечника, а судейство уколов должно быть легким.

В Правилах FIE отмечается, что одежда фехтовальщика может быть различных цветов, но туловище должно быть белого или светлого цвета, это важное требование, так как оно накладывает ограничения на использование в качестве материала верха куртки некоторых современных специальных высокопрочных волокон и нитей, например параарамидных.

Из сформулированных выше требований видно, что конкретные нормы устанавливаются только на сопротивление проколу материалов – 350 и 800 Н. Отсутству-

ют конкретные требования по структуре, толщине, поверхностной плотности, жесткости на изгиб, количеству и виду санитарных обработок, что осложняет процесс проектирования данных материалов и делает необходимым анализ существующих решений в данной области.

Из патента РФ 2113566 (Керимов, Попов, Абрамчук, Курмашова и Харченко, 1998) известна ткань, которая может быть использована для пошива одежды фехтовальщиков: спортивных костюмов, защитных набочников, тренировочных нагрудников. Ткань вырабатывается креповым переплетением, образованным путем комбинации двух репсовых переплетений (репс основной 2/2 и репс уточный 2/2). Переплетение образуется способом смещения базовых переплетений относительно друг друга одновременно по горизонтали и вертикали.

Известна ткань «кольчуга» (Керимов, Попов, Курмашова, Мокеев и Харченко, 1999) выполненная мелкоузорчатым однослойным переплетением с числом нитей в раппорте равным шести. Ткань может быть выполнена из синтетических нитей, например, параарамидных, полиэфирных нитей или полиэтиленовых нитей.

По мнению авторов (Керимов, Попов, Курмашова, Мокеев и Харченко, 1999) предложенное чередование нитей в раппорте ткани с наполнением до 170 %, позволяет обеспечить поверхностную плотность на уровне 280–320 г/м<sup>2</sup>, жесткость на изгиб 1,4–1,5 гс/см<sup>2</sup>, воздухопроницаемость 82–86 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>с, толщину 0,6 мм. Устойчивость на прокол при использовании в ткани полиэфирных комплексных нитей составляет 475 Н, а при использовании полиэтиленовых нитей 820 Н.

Ткань, предложенная в патенте РФ 2137868 имеет малую толщину и чрезвычайно высокое наполнение, что делает ее структуру крайне жесткой и плохо драпируемой.

Из патента US20180163329A1 (Mingfu, Chao, 2017) известно высокопрочное трикотажное полотно для защитной одежды фехтовальщиков, где в качестве исходного сырья используются волокна сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) линейной плотности 40–46,7 текс и высокопрочные полиэфирные нити линейной плотности 51,1–60 текс. Полотно имеет устойчивость при прокале 3300 Н при поверхностной плотности 600 г/м<sup>2</sup>.

Как видно из патента US20180163329A1 трикотажные полотна, связанные из СВМПЭ нитей удовлетворяют требованиям FIE и являются альтернативой тканым структурам.

Из публикаций (Yang, Cui, Wang, Xing, 2025; Платонов, 2020) известно о применении СВМПЭ нитей для создания материалов для баллистической защиты, и защиты при самообороне и при занятиях боевыми искусствами. В работе (Yang, Cui, Wang, Xing, 2025) СВМПЭ нити используются для получения нетканых панелей (жестких ламинатов), пропитанных смолой, а в работе (Платонов, 2020) СВМПЭ нити используются для вязания трикотажа с толщиной от 0,9 до 1,5 мм и весом от 200 г/м до 650 г/м.

К недостаткам трикотажных полотен можно отнести их большую растяжимость при деформировании и большой удельный вес в сравнении с тканями при прочих равных условиях, что обусловлено существенно большей длиной нити в петле трикотажа по сравнению с длиной нити в элементе ткани.

В патенте US5514457A (Fels, Brustmann, Schuster, 1996) предлагается изготавливать защитные текстильные структуры (ткани, трикотаж, плетеные изделия), предназначенные для использования в одежде, защищающей от прокола, порезов, осколков и пуль, из армированных нитей с внутренним высокопрочным сердечником и оболочкой из пряжи на основе натуральных или искусственных волокон, что позволяет облегчить крашение и печать данных полотен.

Недостатком такой однослойной ткани является повышенная жесткость и осыпаемость толстых нитей при крае ткани.

В патенте РФ 2240713С2 (Чиоу, 2004) предлагается многослойный пакет из тканей, защищающий от воздействия ударов ножом. Многослойный пакет выполняется без специальных связующих и имеет поверхностную плотность 3,0 кг/м<sup>2</sup>. Ткань слоев изготовлена из комплексных нитей (например, арамид, полиолефины, полибензоксазол, полибензотиазол и из их комбинаций), имеющих прочность 10 гс/дтекс, коэффициент плотности ткани должен быть от 0,2 до 0,65, что обеспечивает улучшенную стойкость к пробиванию лезвием ножа.

Недостатком изобретения является повышенный вес защитных пакетов, что не позволяет использовать их при занятиях спортом.

В патенте РФ 2666217С2 (Там, Бун, Батнагар, 2018) приводятся сведения о том, что композиты на основе нетканых структур (так называемые одно- или многонаправленные UD-структуры), в которых нити располагаются в каком-то одном или нескольких направлениях не переплетаясь друг с другом, будучи скреплены тем

или иным способом (горячее прессование, склеивание, дублирование), лучше останавливают высокоскоростные поражающие элементы, чем композиты на основе традиционных тканей, так как армирующие нити в данных нетканых полотнах не имеют изгиба. Придание изгиба нитям в традиционной ткани снижает их способность работать на растяжение и мгновенно поглощать энергию высокоскоростного поражающего элемента, что снижает их эффективность.

При этом авторы [Там, Бун, Батнагар, 2018] утверждают, что композиты на основе традиционных тканых структур демонстрируют лучшую стойкость к проколу, в отличие от нетканых структур, так как структура ткани с пересечениями и изгибом нитей создает довольно высокое трение, что имеет решающее значение при прокалывании. Стойкие к проколу изделия на основе тканей требуют очень высокой плотности нитей по основе и утку для того, чтобы при ударе не происходило смещения нитей.

Известен материал верха куртки от лидера мирового рынка фехтовальной экипировки компании Allstar (Германия). Анализ материала костюма Allstar показал, что верх куртки представляет собой двухслойное трикотажное полотно из нитей СВМПЭ 48 текс 70 кр./м на лицевой стороне и текстурированных полиамидных нитей 26 текс на изнаночной стороне, соединение слоев осуществляется с помощью текстурированных полиамидных нитей 12,6 текс. Поверхностная плотность трикотажного полотна 733,5 г/м<sup>2</sup>, толщина при давлении на пробу 19 кПа: 1,56 мм, усилие при проколе 877 Н при прогибе образца 22 мм.

Таким образом, из приведенных выше литературных источников видно, что для создания современных материалов с повышенной устойчивостью к проколам и порезам нашли применение нити на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена. При этом особый интерес могут представлять многослойные структуры с различной комбинацией нитей в слоях.

### **Выбор сырьевого состава и проектирование защитных структур тканей**

Как подчеркивалось ранее, основной проблемой создания эффективных защитных текстильных структур является неполная реализация свойств нитей [Сафонов, 2025]. Главными причинами неполной реализации свойств высокопрочных и высокомодульных нитей в материале являются, во-первых, снижение механических свойств нитей в процессе переработки (перемотка,

снование, ткачество), во-вторых, особенности строения полотна: вид переплетения, степень изгиба нитей в структурном элементе, длина основных и уточных перекрытий и т. д.

Таким образом, задача проектирования оптимального защитного материала сводится к выбору исходного сырья, разработке щадящих режимов его переработки по всем переходам производства и выбора текстильной структуры, в которой нити всех систем будут участвовать в деформировании полотна максимально полезно (одновременно).

Для изготовления тканей с повышенным сопротивлением проколу предложено использовать высокопрочные полиэфирные нити с относительной разрывной нагрузкой на уровне 60–70 сН/текс, нити СВМПЭ с относительной разрывной нагрузкой на уровне 280–300 сН/текс и высокоэластичные текстурированные нити, которые предлагается вводить в структуру ткани в ограниченном количестве для обеспечения лучших усадочных свойств в процессе отделки и лучшего сцепления нитей при проколе ткани.

К преимуществам полиэфирных и СВМПЭ нитей относится то, что они обладают естественным белым цветом (одно из требований FIE), устойчивы к истиранию и многократным изгибам, устойчивы к УФ-излучению, обладают минимальным влагопоглощением по сравнению с параарамидными нитями и современными нитями на основе жидкокристаллических полимеров [Шкуренко, Галицын и Соколов, 2022; Перепелкин, 2009].

Исследуем более подробно основные физико-механические свойства выбранных нитей, в особенности СВМПЭ. Нити СВМПЭ выпускаются в некрученом виде, что существенно осложняет процесс их текстильной переработки. Поэтому возникает необходимость выбора оптимальной величины крутки, которая с одной стороны позволит с минимальными повреждениями переработать нить, а с другой стороны позволит реализовать полезные свойства нити при воздействии поражающего элемента.

На рисунке 1 представлены фотографии исходной некрученой и крученой на 70 кр./м нити СВМПЭ 66 текс. Видно, что придание нити СВМПЭ крутки позволяет сделать ее более компактной и пригодной для текстильной переработки.

На рисунке 2 представлены диаграммы деформирования нити СВМПЭ с различной величиной крутки. Установлено, что с увеличением крутки наблюдается увели-



Рисунок 1 – Внешний вид нити СВМПЭ 66 текс до и после кручения  
Figure 1 – View of UHMWPE thread 66 tex before and after twisting

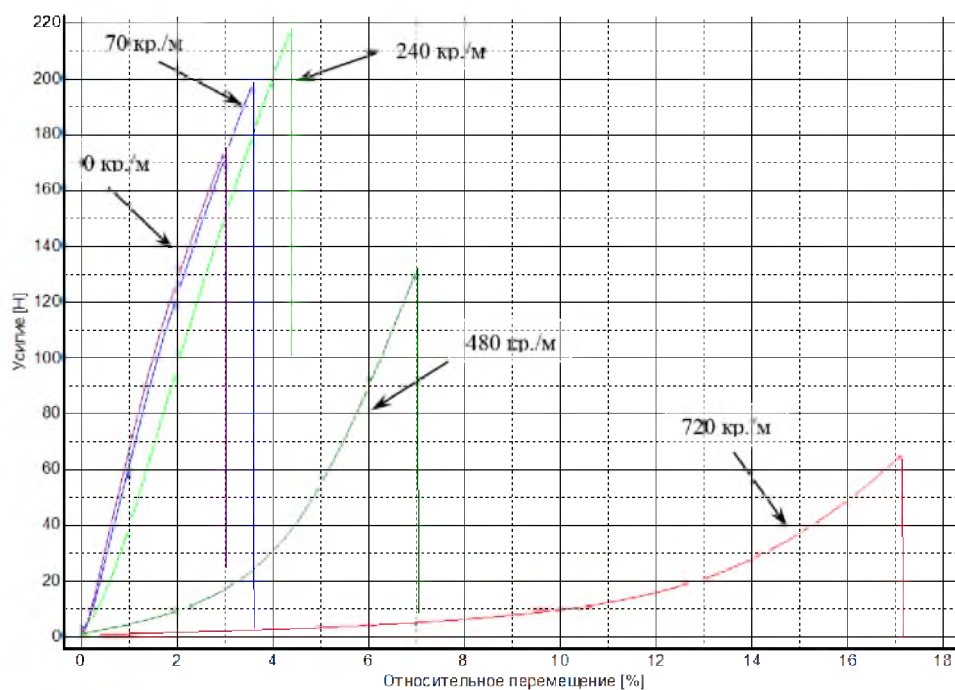


Рисунок 2 – Изменение характера диаграмм растяжения нити СВМПЭ 66 текс  
при различной величине крутки  
Figure 2 – Changing features stretching diagrams of the UHMWPE thread 66 tex at different twist values

чение разрывной нагрузки нити, но до определенного предела (до критической крутки), который, в данном примере, составил 240 кр./м.

После превышения величины критической крутки наблюдается резкое снижение разрывной нагрузки (рисунок 3), что связано со значительным перенапряжением нити в поперечном направлении. При этом удли-

нение нити при разрыве продолжает увеличиваться (рисунок 4).

В таблице 1 представлены значения показателей физико-механических свойств некрученых и крученых СВМПЭ нитей, выбранных для исследования. В качестве оптимальной крутки для нитей СВМПЭ линейной плотности 44 и 66 текс выбрана крутка 120 и 70 кр./м,

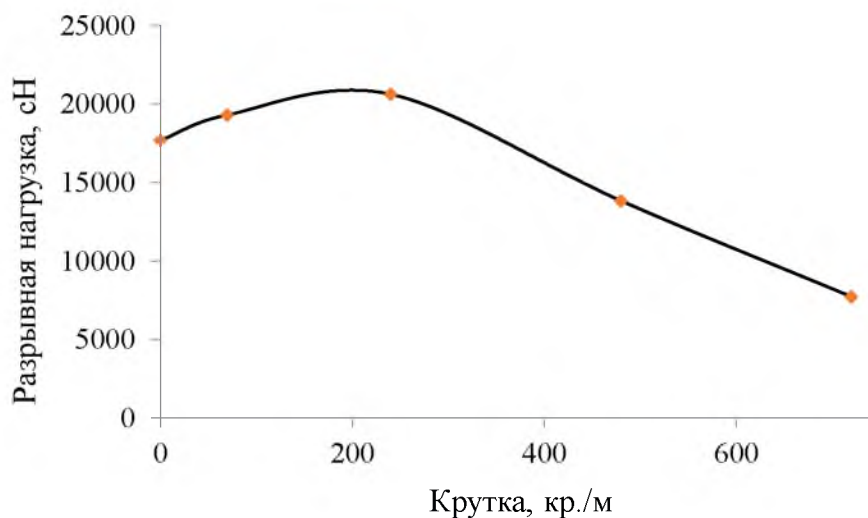


Рисунок 3 – Зависимость разрывной нагрузки нити СВМПЭ 66 текс от величины крутки  
Figure 3 – Dependence of the breaking load of a UHMWPE thread 66 tex on the twist value

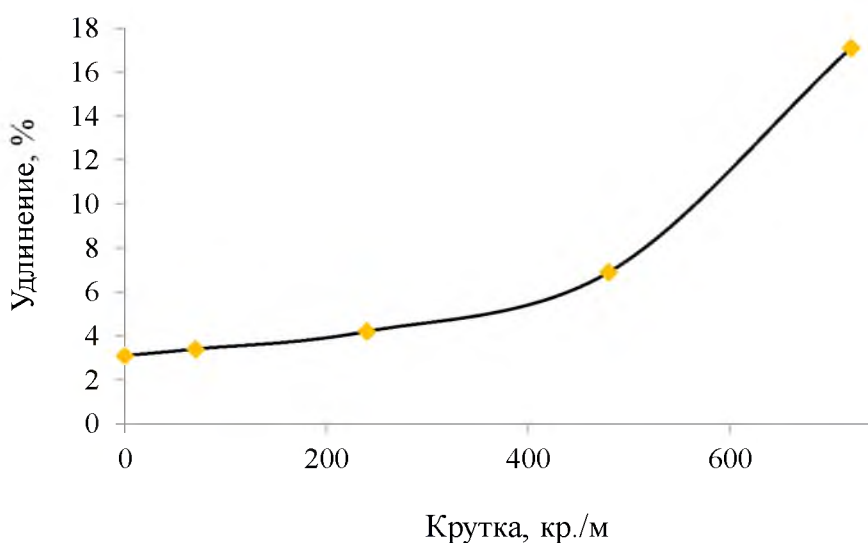


Рисунок 4 – Зависимость разрывного удлинения нити СВМПЭ 66 текс от величины крутки  
Figure 4 – Dependence of the breaking elongation of a UHMWPE thread 66 tex on the twist value

Таблица 1 – Значения показателей физико-механических свойств некрученых и крученых СВМПЭ нитей  
Table 1 – Values of the physical-mechanical properties of non-twisted and twisted UHMWPE threads

Наименование показателя свойств	Наименование нити			
	УHMWPF СВМПЭ 44 текс	УHMWPF СВМПЭ 66 текс	УHMWPF СВМПЭ 44 текс	УHMWPF СВМПЭ 66 текс
Линейная плотность, текс	46,1	66,8	45,3	68,6
Отклонение фактической линейной плотности от номинальной, %	+4,8	+1,2	+3,0	+3,9
Коэффициент вариации по линейной плотности, %	2,0	2,3	1,6	2,8
Крутка нити, кр./м	0	0	100	70
Коэффициент крутки, отн. ед.	-	-	21,3	18,3
Тангенс угла наклона витков крученой нити, град.	-	-	31,8	30,2
Диаметр крученой нити, мм	-	-	0,56	0,76
Разрывная нагрузка нити, сН	12892,6	18771,8	13136,7	20075,8
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	279,7	281,0	290,0	292,7
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	2,3	9,4	5,3	7,5
Удлинение нити при разрыве, %	3,4	2,9	3,6	3,3
Коэффициент вариации по удлинению, %	4,1	12,4	6,0	8,2
Модуль упругости при $\epsilon = 1\%$ , ГПа	110,4	115,6	91,4	101,3
Удельная работа разрыва, Дж/г	52,6	46,3	58,7	53,3
Содержание замасливателя, %	0,04	0,03	-	-

соответственно, что соответствует величине коэффициента крутки 21,3 и 18,3, и тангенсу угла наклона витков на уровне 30–32 градусов.

Поясним некоторые использованные выше понятия. При уменьшении крутки комплексной нити происходит уменьшение тангенса угла наклона витков периферийных элементарных нитей (филаментов). При этом тангенс угла кручения рассчитывается по формуле:

$$\tan \beta = \frac{\alpha_k}{89,6\sqrt{\delta n}}, \quad (1)$$

где  $\alpha_k$  – безразмерный коэффициент крутки;  $\delta n$  – объемная плотность нити, мг/мм<sup>3</sup>.

Коэффициент крутки нити характеризует интенсивность скручивания нитей различной линейной плотности и определяется из соотношения:

$$\alpha_k = K \cdot \sqrt{\frac{T}{1000}}, \quad (2)$$

где  $K$  – величина крутки нити, кр./м;  $T$  – линейная плотность нити, текс.

Объемная плотность нити в г/см<sup>3</sup> или мг/мм<sup>3</sup>:

$$\delta_n = \frac{1,27 \cdot T}{1000 \cdot d^2}, \quad (3)$$

где  $T$  – линейная плотность нити, текс;  $d$  – диаметр нити, мм.

Таким образом, защитную ткань предлагается изготавливать из нитей основы и утка с коэффициентом крутки порядка 20 единиц и тангенсом угла наклона витков порядка 30 градусов.

Зная фактический диаметр крученой нити (на основании анализа микрофотографий, рисунок 1) можно определить значения коэффициента  $C$ , характеризующего волокнистый состав и структуру нити:

$$d = 0,1C\sqrt{0,1T}. \quad (4)$$

Для СВМПЭ нити получим значение  $C = 2,6-2,9$ , для сравнения комплексная крученая полиэфирная нить соизмеримой линейной плотности имеет  $C = 1,6-1,7$ . Таким образом, нити СВМПЭ обладают повышенной объемной плотностью в сравнении с традиционными нитями. Объемная плотность СВМПЭ нити составляет  $0,15-0,18 \text{ г/см}^3$ , что больше в 2,5-3 раза, чем у полиэфирной нити –  $0,46 \text{ г/см}^3$ .

Далее были спроектированы две структуры защитных тканей с повышенной устойчивостью при проколе. Спроектированные ткани предлагается изготавливать двухслойными переплетениями:

1) спроектирована полиэфирная ткань с расчетной поверхностной плотностью  $470 \text{ г/м}^2$ . Ткань предлагается изготавливать двухслойным переплетением с прижимными нитями утка, где в качестве прижимных нитей предлагается использовать текстурированные высокоэластичные полиамидные нити эластик, на рисунке 5 представлен фрагмент схемы расположения основных и уточных нитей в ткани, где: П1...П4 – прижимной уток. В качестве базового переплетения верхнего и нижнего слоя выбран неправильный четырехремизный сатин,

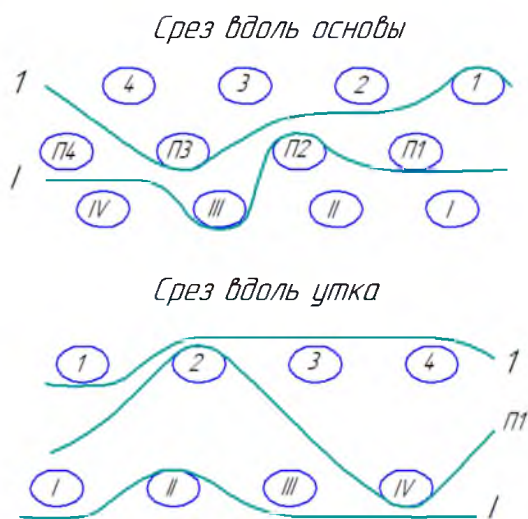


Рисунок 5 – Расположение нитей основы и утка в структуре двухслойной ткани с прижимными нитями утка  
Figure 5 – The arrangement of warp and weft threads in a two-layer fabric with pressed weft threads

соотношение верхней и нижней основ 1:1, соотношение верхнего, нижнего и прижимного утка 1:1:1;

2) спроектирована ткань из СВМПЭ нитей (44 текс в основе и 66 текс в утке) с расчетной поверхностной плотностью  $370 \text{ г/м}^2$ . Ткань предлагается изготавливать двухслойным переплетением с комбинированным способом соединения слоев, что позволяет получить наиболее прочную и плотную структуру, на рисунке 6 представлен фрагмент схемы расположения основных и уточных нитей в ткани. В качестве базового переплетения верхнего и нижнего слоя выбран неправильный четырехремизный атлас, соотношение верхней и нижней основ 1:1, соотношение верхнего и нижнего утка 1:1.

Для изготовления спроектированных двухслойных тканей был выбран рапирный многоцветный ткацкий станок марки BestMax-210. Снование основ разработанных тканей предложено производить на ленточной сновальной машине HF998С при скорости снования не более  $200 \text{ м/мин}$  и скорости перевивания не более  $50 \text{ м/мин}$ .

Установлено, что средний уровень натяжения при сновании полиэфирных нитей не должен превышать

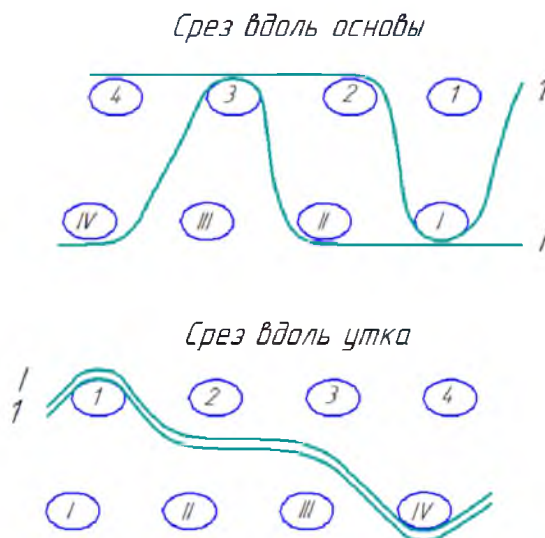


Рисунок 6 – Расположение нитей основы и утка в структуре двухслойной ткани с комбинированным способом соединения слоев  
Figure 6 – The arrangement of warp and weft threads in a two-layer fabric with a combined method of layer connection

2 % от разрывной нагрузки, а максимальный уровень не должен превышать 4 %.

Установлено, что средний уровень натяжения при сновании высокопрочных СВМПЭ нитей составляет 0,2 % от их разрывной нагрузки, а максимальный уровень составляет 0,7–1,3 % от разрывной нагрузки.

Отметим, что при навивании ленты на барабан производится обработка нитей шлихтующим препаратом Texuwaх CF (холодная шлихта), что позволяет снизить повреждаемость нитей в процессе ткачества.

Установлено, что средний уровень натяжения основы при зевообразовании при формировании двухслойной полиэфирной ткани составляет 1,5 % от разрывной нагрузки нити, а максимальный уровень натяжения основы при прибое составляет 3,4 %.

Установлено, что средний уровень натяжения основы при зевообразовании при формировании двухслойной СВМПЭ ткани составляет 0,4–0,7 % от разрывной нагрузки нити, а максимальный уровень натяжения основы при прибое составляет 2–2,5 %.

#### Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

Далее представлены результаты исследований физико-механических и защитных свойств разработанных двухслойных тканей. В таблице 2 представлены значения показателей физико-механических и защитных свойств спроектированных двухслойных тканей.

Отметим, что испытания на сопротивление проколу проводятся в соответствии с требованиями ГОСТ Р 124.260-2011 с дополнением: устойчивость на прокол определяется с помощью металлического индентора сечением 3\*3 мм с пирамидальной заточкой граней под углом 30 градусов к основанию, что позволяет имитировать воздействие острого обломка оружия фехтовальщика.

Из данных таблицы 2 следует, что все спроектированные образцы ткани в суровом и готовом (отделанном) виде обладают устойчивостью при проколе не менее 350 Н, что позволяет использовать их для пошива тренировочных и детско-юношеских фехтовальных костюмов. При использовании ткани арт. 5613-23 в два слоя удается обеспечить усилие при проколе на уровне 907-1249 Н, что удовлетворяет основным требованиям FIE – не менее 800 Н.

Установлено, что полиэфирная ткань арт. 5613-23 с поверхностной плотностью 449 г/м<sup>2</sup> в суровом виде имеет усилие при проколе на уровне 442 Н, после про-

цесса отделки ткани усилие при проколе увеличивается на 18 % до 522 Н. Также установлено, что после машинных стирок полиэфирной ткани с прижимным утком устойчивость к проколу продолжает увеличиваться – до 627 Н после трех стирок и до 646 Н после десяти стирок. Это объясняется тем, что высокообъемные и высокоэластичные текстурированные нити эластик, использованные в качестве прижимного утка, дополнительно усаживаются после мокрых обработок и температурных воздействий при отделке и стирках.

Неожиданным является тот факт, что усилие при проколе ткани арт. 5613-23 и 5614-23 фактически совпадает, несмотря на то, что ткани выработаны различными переплетениями и усилие вытягивания нитей из ткани арт. 5614-23 (двухслойное переплетение с комбинированным соединением слоев) существенно превышает аналогичный показатель для арт. 5613-23 (двухслойное переплетение с прижимным утком). Метод определения усилия вытягивания нитей из ткани подробно описан в работе [Сафонов, 2025].

На рисунках 7 и 8 представлены фотографии поперечных срезов разработанных тканей. Установлено, что соотношение высот волн изгиба основы и утка в слоях ткани арт. 5613-23 составляет 1,1, а в ткани арт. 5614-23 при использовании полиэфирных нитей – 2,7 и при использовании СВМПЭ нитей – 2,0.

Как было показано в работе [Сафонов, 2025] если соотношение высот волн изгиба основы и утка в ткани отличается от единицы (т.е. ткань не в пятом порядке фазы строения), то наблюдается резкое увеличение анизотропии свойств в направлении основы и утка, что выражается в неодинаковом усилии вытягивания нитей. Именно этот случай наблюдается для ткани с комбинированным соединением слоев (рисунок 8).

Также неожиданный результат получен при испытаниях ткани арт. 5614-23 из нитей СВМПЭ; установлено, что, несмотря на уникально высокую относительную разрывную нагрузку СВМПЭ по сравнению с полиэфиром (в 5 раз выше), усилие при проколе ткани составило всего 418 Н.

Это объясняется тем, что нити СВМПЭ, несмотря на высокую прочность и надежное закрепление в элементе ткани, все же вытягиваются без разрыва при воздействии индентора.

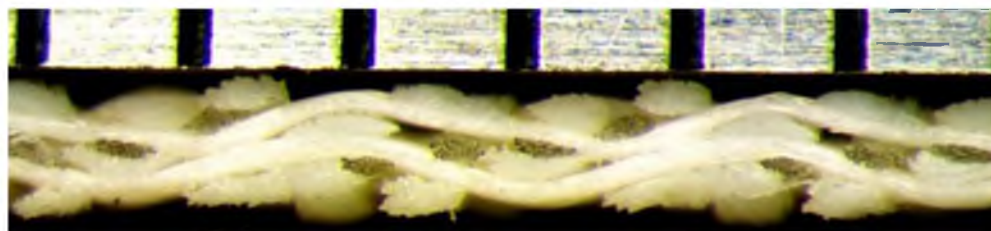
На рисунке 9 показаны образцы разработанных тканей в местах прокола. Видно, что в ткани с комбинированным соединением слоев (арт. 5614-23) нити утка,

## ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

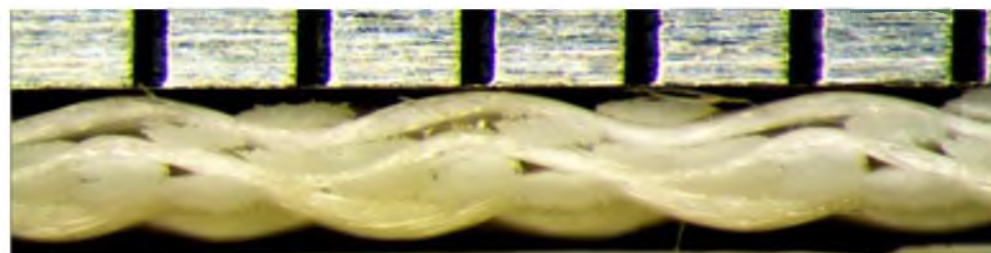
Таблица 2 – Значения показателей физико-механических свойств двухслойных тканей с номинальным усилием на прокол не менее 350 Н

Table 2 – Values of the physical and mechanical properties of double-layered fabrics with a nominal puncture force of at least 350 N

Наименование показателей	Значения показателей			
	Арт. 5613-23 сур.	Арт. 5613-23 гот.	Арт. 5614-23 сур.	
Сырьевой состав	93 % ПЭ, 7 % ПА	93 % ПЭ, 7 % ПА	100 % ПЭ	100 % СВМПЭ
Линейная плотность нитей, текс				
основа	55,6	55,6	55,6	44
уток	55,6 и 20	55,6 и 20	55,6	66
Переплетение	Двухслойное с прижимным утком (рисунок 5)		Двухслойное с комбинированным соединением слоев (рисунок 6)	
Толщина при 19 кПа, мм	0,78	0,75	0,75	0,73
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	449,1	483,2	402,1	365,3
Количество нитей на 10 см:				
по основе	375	396	368	365
по утку	468	499	283	262
Разрывная нагрузка полоски ткани (50x200)мм, Н:				полоска (25x200)мм
по основе	5701,1	5898,8	4931,3	4177
по утку	4875,3	5324,3	4519,6	6860
Удлинение полоски ткани (50x200)мм ткани, %:				полоска (25x200)мм
по основе	15,5	21,5	17,7	16,9
по утку	17,0	23,6	13,3	10,7
Раздирающая нагрузка ткани, Н				
по основе	649,7	612,8	565,5	4062
по утку	655,3	655,7	538,2	4270
Устойчивость на прокол, Н	448	522 646 – 10 стирок	416 576 – гот.	418
Максимальное перемещение индентора при проколе, мм	6,6	7,0 8,3 – 10 стирок	7,1	10,2
Воздухопроницаемость, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> с	25,0	21,1	Менее 6,9	Менее 6,9
Жесткость ткани при изгибе, Н·см <sup>2</sup>				
по основе	0,13	0,16	0,20	0,24
по утку	0,50	0,15	0,40	0
коэффициент жесткости $K_{EI}$	1,26	1,10	0,50	-//-
Усилие вытягивания нити, Н:				
основа	10,1	11,2	27,8	55,2
уток	5,8	7,0	15,6	16,4



а



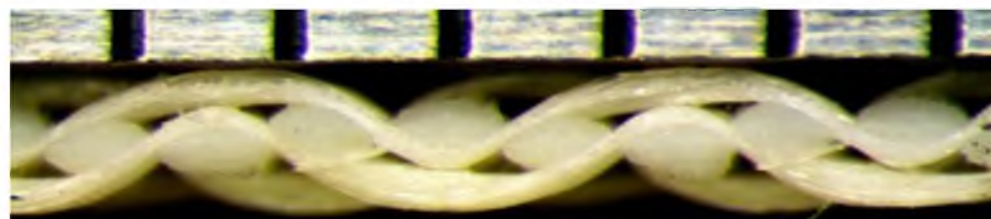
б (b)

Рисунок 7 – Микросрезы двухслойной ткани с прижимным утком:

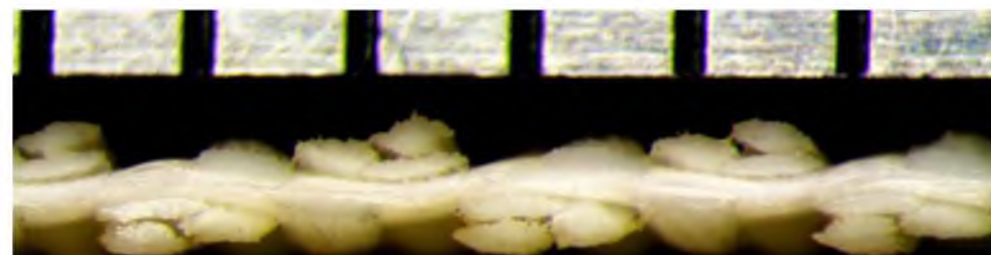
а – вдоль основы; б – вдоль утка

Figure 7 – Cross section of fabric with connective weft:

а – along warp thread; б – along weft thread



а



б (b)

Рисунок 8 – Микросрезы двухслойной ткани с комбинированным соединением слоев:

а – вдоль основы; б – вдоль утка

Figure 8 – Cross section of fabric with a combined method of joining layers:

а – along warp thread; б – along weft thread

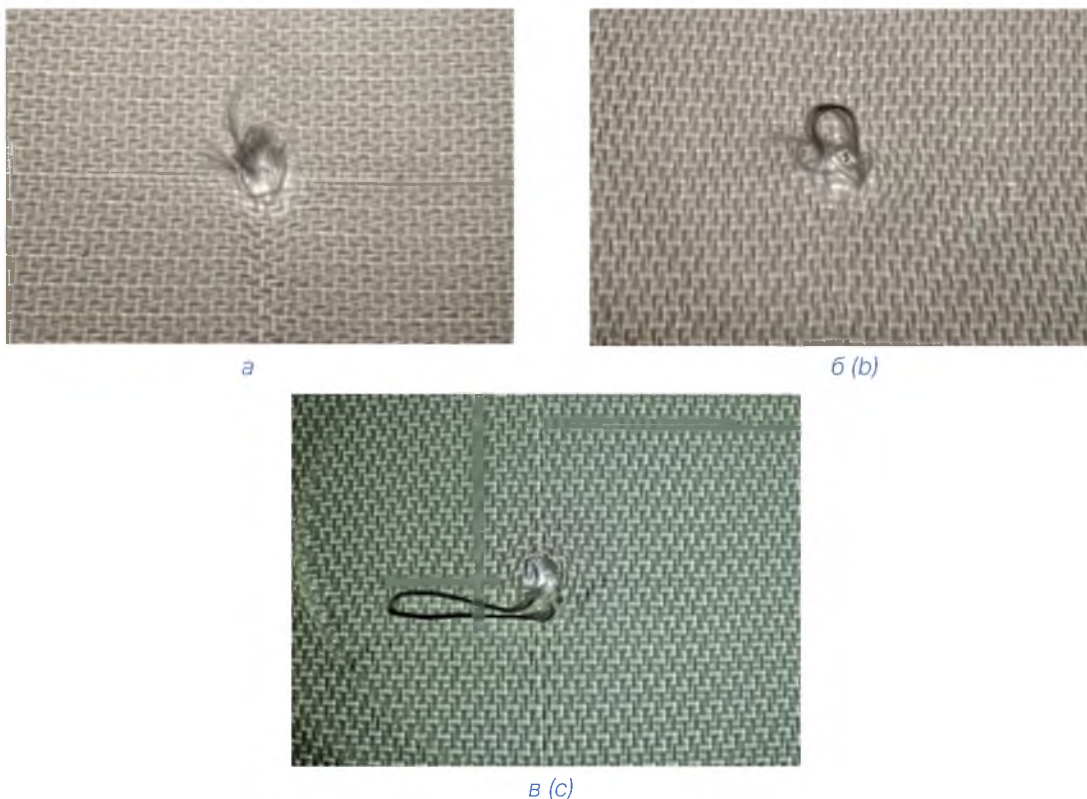


Рисунок 9 – Фотографии тканей в местах прокола:  
а – полиэфирная ткань с прижимным утком; б – полиэфирная ткань с комбинированным соединением слоев; в – СВМПЭ ткань с комбинированным соединением слоев

Figure 9 – Photos of fabrics at the puncture sites:  
a – polyester fabric with a connective weft; б – polyester fabric with a combined method of joining layers;  
c – UHMWPE fabric with a combined method of joining layers

имеющие меньший изгиб в отличие от основы, вытягиваются без разрушения, особенно это при использовании СВМПЭ нитей.

Таким образом, для более полной реализации свойств нитей при взаимодействии с поражающим элементом при проколе, для предотвращения их вытягивания, в особенности при использовании СВМПЭ, было предложено связать высокоплотное малорастяжимое трикотажное полотно.

Высокоплотное малорастяжимое двухслойное трикотажное полотно было спроектировано на базе переплетения производная гладь с соединением слоев переплетением ластик 1:1 (Сафонов, Левакова, Юхин, Пивкина

и Фомина, 2025). Трикотажное полотно предложено изготавливать из СВМПЭ нитей 44 текс и текстурированных высокоэластичных нитей.

В качестве соединительных нитей (нити наброска) предложено использовать текстурированные высокоэластичные и высокоусадочные нити либо нити СВМПЭ, скрученные с полиуретановой нитью типа спандекс. Также при вязании полотна его основа – СВМПЭ нить может быть провякана платтировкой с текстурированной нитью, что позволяет увеличить фрикционное взаимодействие при проколе.

В таблице 3 представлены результаты испытаний опытных образцов трикотажа, связанного на плоскостя-

Таблица 3 – Значения показателей физико-механических свойств двухслойного трикотажа с номинальным усилием на прокол не менее 800 Н

Table 3 – The values of the physical and mechanical properties of double-layer knitwear with a nominal puncture force of at least 800 N

№ обр.	Сырьевой состав образца	Наименование показателя свойств			
		Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Толщина, мм	Усилие при проколе, Н	Прогиб в момент прокола, мм
1	55,5 % СВМПЭ – основа 44,5 % комб. нить СВМПЭ+спандекс – наброски	741,1	2,21	895 Min 672 Max 1116	29,2
1.1	53,5 % СВМПЭ – основа 46,5 % комб. нить СВМПЭ+спандекс – наброски	771,5	2,33	1015 Min 898 Max 1109	20,9
2	45 % СВМПЭ – основа 38 % комб. нить СВМПЭ+спандекс – наброски 17 % Полиэфир текстур. – платтировка	1014,1	2,45	1089 Min 931 Max 1249	21,6
2.2	47 % СВМПЭ – основа 36 % комб. нить СВМПЭ+спандекс – наброски 17 % Полиэфир текстур. – платтировка	936,5	2,53	972 Min 796 Max 1212	23,2
3	56 % СВМПЭ – основа 44 % Полиэфир текстур. – наброски и платтировка	846,8	2,78	916 Min 876 Max 992	20,9

зальной машине.

Из данных таблицы 3 следует, что все образцы трикотажа имеют среднюю устойчивость при проколе не менее 800 Н, фактически от 895 до 1089 Н, что полностью соответствует требованиям FIE.

Особенностью деформирования трикотажного полотна при проколе является значительный прогиб в момент разрушения. Прогиб трикотажа при проколе достигает 21–29 мм, для сравнения прогиб ткани в максимальном случае 10 мм. Значительный прогиб защитного материала, даже без его разрушения, может привести к травме спортсмена – так называемая запреградная травма. Таким образом, наиболее перспективными представляются образцы трикотажа с прогибом при проколе не более 22 мм.

На рисунке 10 представлены фотографии трикотажных полотен в месте прокола. Крупным планом представлено место прокола в образце № 3, который обладает, по нашему мнению, наилучшим соотношением

поверхностной плотности, толщины, устойчивости при проколе и прогибе при разрушении. Использование в качестве набросков и платтировки текстурированных нитей позволило в данном случае обеспечить необходимое фрикционное усилие между нитями при проколе и тем самым реализовать свойства СВМПЭ нитей.

Таким образом, в результате проведенной работы был произведен выбор исходного сырья, спроектированы, изготовлены и испытаны защитные материалы (двухслойные ткани и трикотаж) с заданным сопротивлением проколу, которые могут быть рекомендованы для пошива костюмов фехтовальщиков.

#### Выводы

- на основании анализа литературных источников и существующего мирового опыта были спроектированы образцы двухслойных тканей и трикотажа с заданным сопротивлением проколу;
- для изготовления материалов с повышенным сопротивлением проколу, предназначенных для изго-

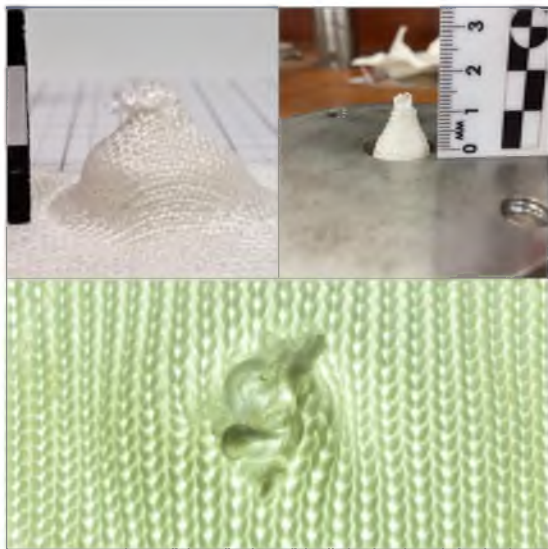


Рисунок 10 – Фотографии трикотажа из СВМПЭ в местах прокола  
Figure 10 – Photos of UHMWPE knitwear in puncture sites

товления экипировки фехтовальщиков, предложено использовать высокопрочные полиэфирные нити, высокопрочные и высокомодульные нити СВМПЭ и высокоэластичные и высокоусадочные текстурированные нити;

– для изготовления защитных тканей рекомендуется использовать полиэфирные высокопрочные нити в сочетании с текстурированными нитями, а для изготовления трикотажных полотен использовать высокопрочные и высокомодульные нити СВМПЭ в сочетании с текстурированными нитями и нитями типа спандекс, что позволяет в максимальной степени реализовать свойства выбранных нитей;

– по результатам проведенной работы в состав экипировки фехтовальщика внедрена двухслойная полиэфирная ткань арт. 5613-23 с поверхностной плотностью 483 г/м<sup>2</sup> и сопротивлением проколу в один слой не менее 350 Н и в два слоя не менее 800 Н;

– на этапе внедрения находятся опытные трикотажные полотна с поверхностной плотностью от 741 до 1014 г/м<sup>2</sup> и сопротивлением при проколе не менее 800 Н.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Керимов, С.Г., Попов, Л.Н., Абрамчук, С.С., Курмашова, И.А. и Харченко, Е.Ф. (1998). *Ткань для защитной одежды*. Пат. № 2113566 РФ; МПК D03D15/00; заявка 96111933/12; заявл. 13.06.1996; опубл. 20.06.1998.

Керимов, С.Г., Попов, Л.Н., Курмашова, И.А., Мокеев, О.Б. и Харченко, Е.Ф. (1999). *Ткань «Кольчуга» для защитной одежды*. Пат. № 2137868 РФ; МПК D03D15/00; заявка 98120794/12; заявл. 20.11.1998; опубл. 20.09.1999.

Перепелкин, К.Е. (2009). *Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты*. Санкт-Петербург: Научные основы и технологии, Российская Федерация.

Платонов, Р.В. (2020). *Ткань трикотажная для использования при самообороне в боевых контактах и искусствах*. Пат. № 2020113981А; МПК D04Н 1/00; заявка: 2020113981, 16.04.2020; опубл. 20.10.2020.

Сафонов, П.Е. (2025). Исследование взаимосвязи между параметрами строения ткани и ее защитной способностью при прорезании. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 3 (53), С. 38–52. DOI:10.24412/2079-7958-2025-3-38-52.

Сафонов, П.Е., Левакова, Н.М., Юхин, С.С., Пивкина, С.И. и Фомина, О.П. (2025). Разработка структур тканей и трикотажа с повышенной устойчивостью на прокол. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2025, № 4 (418), С. 154–162.

Там, Т., Бун, М.Б. и Батнагар, А. (2018). *Стойкие к проколу и пуленепробиваемые изделия и способ изготовления таких изделий*. Пат. № 2666217С2 РФ; МПК D03D 15/00; заявка: 2015144364; заявл. 12.03.2014; опубл. 06.09.2018.

Чиоу, М. Дж. (2004). Композит, стойкий к ударам ножа. Пат. 3 2240713С2 РФ; МПК А41D 31/00, F41H 1/02; заявка: 2002121775/12; заявл. 06.12.2000; опубл. 27.11.2004.

Шкуренко, С.И., Галицын, В.П. и Соколов, А.В. (2022). Проблемы и перспективы создания отечественного производства высоко- и сверхвысокопрочных армирующих материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена. *Про-*

*мышленные процессы и технологии*, Т. 2, № 4 [6], С. 20–31. DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-4(6)-20-3.

Achim, G. Fels, Georg, K. Brustmann and Dieter, H.P. Schuster (1996). *Textile structure for protective clothing*. Patent US 5514457A; F41H 1/02; D03D 3700; D02G 3/00; B32B5/02; publ: May 7, 1996.

Yang Yanfei, Cui Shuo, Wang Yi and Xing Bowen (2025). Influence of Resin Distribution Within UHMWPE Panels on Adhesion Strength and Ballistic Responses. *Polymer Composites*, 47 (9), 8141–8156. DOI:10.1002/pc.70675.

Yuan Mingfu and Yuan Chao (2017). *Light-weight high-strength fabric for fencing protective clothing and preparation process thereof* Patent US 20180163329A1; D04B 1/14, D04B 21/16, D04B 1/22; PCT/CN2015/097444, Dec. 15, 2015; publ. Nov. 24, 2017.

## REFERENCES

Chiou, M.J. (2004). *Kompozit, stojkij k udaram nozha* [Composite, resistant to knife blows]. Patent No. 2240713C2 of the Russian Federation, IPC A41D 31/00, F41H 1/02; application: 2002121775/12; submitted on 06.12.2000; publ. 11.27.2004 (In Russian).

Kerimov, S.G., Popov, L.N., Abramchuk, S.S., Kurmashova, I.A. and Kharchenko, E.F. (1998). *Tkan' dlya zashchitnoj odezhdy* [Fabric for protective clothing]. Patent No. 2113566 of the Russian Federation, IPC D03D15/00; application 96111933/12; submitted on 13.06.1996; publ. 20.06.1998 (In Russian).

Kerimov, S.G., Popov, L.N., Kurmashova, I.A., Mokeev, O.B. and Kharchenko, E.F. (1999). *Tkan' «Kol'chuga» dlya zashchitnoj odezhdy* [Chainmail fabric for protective clothing]. Patent No. 2137868 of the Russian Federation, IPC D03D15/00; application 98120794/12; submitted on 11/20/1998; publ. 09.20.1999 (In Russian).

Perepelkin, K.E. (2009). *Armiryushchie volokna i voloknistye polimernye kompozity* [Reinforcing fibers and fibrous polymer composites]. Saint Petersburg: Scientific Foundations and Technologies, Russian Federation (In Russian).

Platonov, R.V. (2020). *Tkan' trikotazhnaya dlya ispol'zovaniya pri samooborone v boevyh kontaktah i iskusstvah* [Knitted fabric for use in self-defense in combat contacts and arts]. Patent No. 2020113981A of the Russian Federation, IPC D04H 1/00; application: 2020113981, 04/16/2020; publ. 10/20/2020 (In Russian).

Safonov, P.E. (2025). Researching the relationship between the parameters of the fabric structure and its protective ability when cutting knife [Issledovanie vzaimosvyazi mezhdu parametrami stroeniya tkani i ee zashhitnoj sposobnostyu pri prorezanii]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Vitebsk State Technological University*, no. 3 [53], pp. 38–52. DOI:10.24412/2079-7958-2025-3-38-52 (In Russian).

Safonov, P.E., Levakova, N.M., Yukhin, S.S., Pivkina, S.I. and Fomina, O.P. (2025). Development of structures of fabrics and knitwear with increased puncture resistance [Razrabotka struktur tkanej i trikotazha s povyshennoj ustojchivostyu na prokol]. *Izvestiya vysshix uchebnykh zavedenij. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, no. 4 [418], pp. 154–162 (In Russian).

Shkurenko, S.I., Galitsyn, V.P. and Sokolov, A.V. (2022). Problems and prospects of creating domestic production of high- and ultra-high-strength reinforcing materials based on ultra-high molecular weight polyethylene [Problemy i perspektivy sozdaniya otechestvennogo proizvodstva vysoko- i sverxvysokoprochnyx armiryushchix materialov na osnove sverxvysokomolekulyarnogo polietilena]. *Promyshlennye processy i tekhnologii = Industrial processes and technologies*, vol. 2, no. 4 [6], pp. 20–31. DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-4(6)-20-3 (In Russian).

Tam, T., Bun, M.B. and Batnagar, A. (2018). *Stojkie k prokolu i puleneprobivaemye izdeliya i sposob izgotovleniya takih izdelij* [Puncture-resistant and bulletproof products and the method of manufacturing such products]. Patent No. 2666217C2 of the Russian Federation, IPC D03D 15/00; application: 2015144364; submitted 12.03.2014; publ.06.09.2018 (In Russian).

Achim, G. Fels, Georg, K. Brustmann and Dieter, H.P. Schuster (1996). *Textile structure for protective clothing*. Patent US 5514457A; F41H 1/02; D03D 3700; D02G 3/00; B32B5/02; publ: May 7, 1996.

Yang Yanfei, Cui Shuo, Wang Yi and Xing Bowen (2025). Influence of Resin Distribution Within UHMWPE Panels on Adhesion Strength and Ballistic Responses. *Polymer Composites*, 47 (9), 8141–8156. DOI:10.1002/pc.70675.

Yuan Mingfu and Yuan Chao (2017). *Light-weight high-strength fabric for fencing protective clothing and preparation process thereof* Patent US 20180163329A1; D04B 1/14, D04B 21/16, D04B 1/22; PCT/CN2015/097444, Dec. 15, 2015; publ. Nov. 24, 2017.

### Информация об авторах

### Information about the authors

#### Сафонов Павел Евгеньевич

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, главный технолог ООО «ТЕКС-ЦЕНТР», Российская Федерация.

E-mail: pavlin722007@yandex.ru, info@teks-centre.ru

#### Левакова Наталия Марковна

Кандидат технических наук, генеральный директор ООО «ТЕКС-ЦЕНТР», Российская Федерация.

E-mail: info@teks-centre.ru

#### Пивкина Светлана Ивановна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование и художественное оформление текстильных изделий», Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Российская Федерация.

E-mail: yss@staff.msta.ac.ru

#### Pavel E. Safonov

Candidate of Sciences (in Engineering), Senior Researcher, Chief Technologist, TEKS-CENTRE Ltd., Russian Federation.

E-mail: pavlin722007@yandex.ru, info@teks-centre.ru

#### Natalia M. Levakova

Candidate of Sciences (in Engineering), General Director, TEKS-CENTRE Ltd., Russian Federation.

E-mail: info@teks-centre.ru

#### Svetlana I. Pivkina

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor, A.N. Kosygin Russian State University (Technology, Design, Art), Russian Federation.

E-mail: yss@staff.msta.ac.ru