

ПРИЛОЖЕНИЕ НА 3D ТЕКСТИЛ В ПОЖАРНИКАРСКОТО ОБЛЕКЛО

Андрей Белчев¹, Умме Капанък²

¹Югозападен университет „Неофит Рилски“, Технически факултет,
Машинно инженерство, ул. Иван Михайлов №56, Благоевград, България

Резюме:

Защитното облекло за пожарникари трябва да осигурява баланс между термична защита, ниско тегло и висок физически комфорт. Съществуващите разработки са насочени предимно към структурното пожарникарско облекло и рядко адресират специфичните зони, податливи на изгаряния при внезапно обгръщане с пламък при пожари. В настоящото изследване е разработен прототип на полушуба за пожарникари с локализирано включване на огнеупорна триизмерна вътъчноплетена тъкан. Целта е подобряване на термозащитните и комфортните свойства в критични контактни зони, без увеличаване на теглото и обема на облеклото.

Ключови думи: защитно облекло, триизмерен текстил 3D, термична защита, пожарникарско облекло, огнеупорни материали

APPLICATION OF 3D TEXTILE IN FIREWORKS CLOTHING

Andrei Belchev¹, Umme Kapanak²

¹South-West University „Neofit Rilski“, Faculty of Engineering, Department
of Mechanical Engineering, Ivan Mikhailov Street, № 56, Blagoevgrad, Bulgaria
E-mail: andrei.belchev@abv.bg

Abstract:

Protective clothing for firefighters must provide a balance between thermal protection, low weight and high physical comfort. Existing developments are mainly focused on structural firefighting clothing and rarely address the specific areas susceptible to burns when suddenly enveloped by flame in fires. In the present study, a prototype of a half-coat for firefighters with localized inclusion of a fire-resistant three-dimensional interwoven fabric was developed. The goal is to improve thermal protection and comfort properties in critical contact areas, without increasing the weight and volume of the clothing

Въведение

Пожарникарското облекло представлява сложна многослойна система, предназначена да осигурява защита срещу високи температури, пламък, топлинно лъчение, механични въздействия и химически агенти. Съвременното развитие на материалознанието и текстилните технологии позволява внедряване на високоефективни влакна и композитни структури с подобрени функционални характеристики.

Въпреки напредъка, съществуващите решения често водят до компромис между защитата и комфорта. Увеличаването на броя на слоевете подобрява термичната защита, но води до повишено тегло, намалена паропропускливост и ограничена подвижност.

Работната среда на пожарникарите се характеризира с екстремни условия – високи температури, интензивно топлинно лъчение, контакт с вода и химикали, както и значителни механични натоварвания. Данни от международни изследвания показват висок процент на наранявания при пожарогасителни дейности, което подчертава необходимостта от усъвършенстване на защитното облекло.

Понастоящем костюмите на пожарникарите се разработват с помощта на присъщо термоустойчиви материали, но създават сериозни проблеми, свързани с комфорта. Изследвани са свойствата на 3D мрежа, които включват физико-механични свойства и огнеустойчивост. Това проучване ще помогне за подобряване на характеристиките на защитните тъкани за пожарникари и ще предостави насоки по отношение на балансирането на комфорта и характеристиките при проектирането на защитно облекло за пожарникари за различни климатични условия. Работната среда на пожарникарите се характеризира с екстремни температури, интензивно топлинно лъчение, контакт с вода, химикали и механични натоварвания. Поради

това облеклото трябва да осигурява едновременно висока степен на защита и комфорт. В световен мащаб безопасността на пожарникарите остава критичен проблем, както показват данните на Националната асоциация за противопожарна защита на САЩ (NFPA), която е съобщила за 62 085 наранявания на пожарникари през 2023 г. Общо 39,2% от всички наранявания са станали на мястото на пожарите [1].

В този контекст триизмерните текстилни структури представляват обещаващо решение за подобряване на баланса между защита и комфорт.

Материали и методи

Характеристика на 3D текстила

3D spacer мрежите се състоят от два повърхностни трикотажни слоя, свързани чрез монофилни spacer нишки. Анализирани са полиестерни и полиамидни структури с дебелина от 1,5 до 20 mm, или специални арамидни влакна за огнезащита [2]. Те притежават изключително висока въздухопропускливост. Структурата им позволява въздуха да преминава свободно, което предотвратява натрупването на влага. Притежават също и висока устойчивост на деформация. Материалът се връща в първоначалната си форма веднага след премахване на натиска. Вътъчноплетени дистанционни тъкани 3D spacer са структури, състоящи се от два слоя плат, съединени гръб до гръб, изработени от различни материали и с различни структури. Преди, свързващи слоевете, могат или да ги фиксират директно, или да ги раздалечат един от друг. WKSF са уникални структури с 3D пространство. Дебелината зависи от разстоянието между иглените легла, вида на преждата и структурата на основната тъкан. Разделителите могат да варират по структура от нееластични до еластични плътни, мрежести или текстурирани повърхности. Стабилността се контролира чрез нанизването и припокриването

на водещите пръти, осигурявайки стабилност както по дължина, така и по ширина. Свойствата на компресия и еластичност на разделителя могат да се регулират въз основа на материала на водещия прът и модела на припокриване. Технологията на основата на плетене предлага голямо разнообразие от модели, което позволява прецизно регулиране на стабилността на налягането и въздухопропускливостта в разделителните тъкани.

3D текстилът ни въвежда в производството на най-новите влакнести структури, тяхното получаване и приложение. Разглеждайки различните видове тъкани, техните структури и свойства се създават нови плетени и нетъкани текстилни изделия в текстилната промишленост. Представените 3D дистанционните тъкани в пожарникарската екипировка са нововъзникващ клас усъвършенствани текстилни материали, предназначени за подобряване на термичната защита, комфорта и дишането в защитното облекло. 3D е трислоен материал, който е изработен от:

- Горен слой – плетен, тъкан или нетъкан материал, осигуряващ естетика и функционалност;

- Долен слой – осигурява стабилност и опора;

- Дистанционен слой – вертикални нишки или монофиламенти, които държат двата външни слоя разделени.

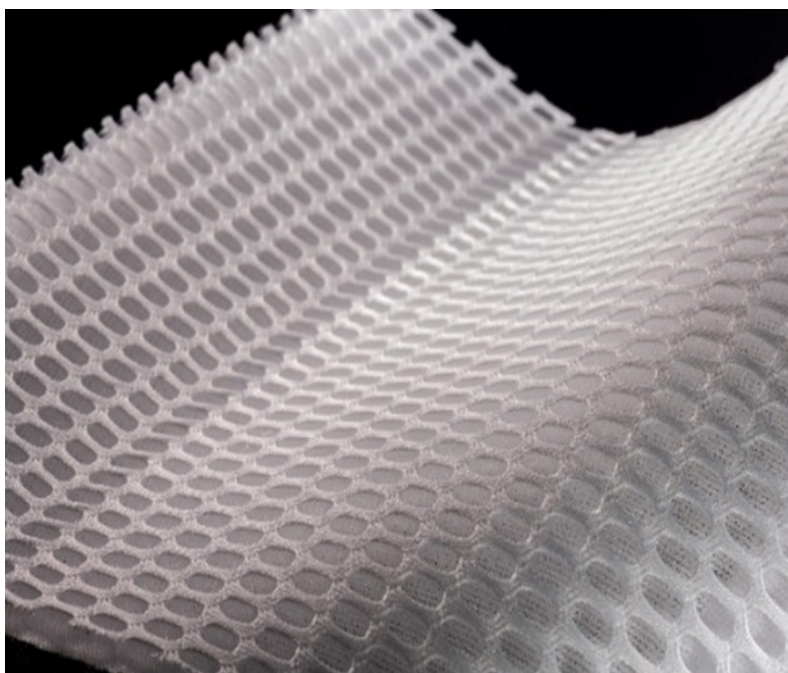
Триизмерният текстил представлява пространствена структура, съставена от три основни слоя:

- външен слой – осигурява защита и устойчивост на външни въздействия;

- вътрешен слой – гарантира стабилност и комфорт при контакт с тялото;

- дистанционен слой – формиран от вертикални нишки или монофиламенти, които поддържат постоянна дебелина и въздушен слой между повърхностите.

Тази структура създава въздушна междина, която действа като ефективна термична бариера и подобрява вентилацията.



Използвани материали в многослойната система на пожарникарското облекло

Огнеустойчиви текстилни материали:

- мета-арамидни и пара-арамидни влакна;
- огнеустойчива вискоза;
- антистатични синтетични влакна;
- нетъкани термоизолационни слоеве;
- конци, обработени за негоримост;
- тъкани, подложени на различни

довършителни обработки, включително водоотблъскваща обработка, и са оценени по показатели като паропропускливост, водоотблъскваща способност, огнеустойчивост, устойчивост на абразия и устойчивост на триене [3].

Редица изобретения предлагат многослойни защитни системи с интегрирани охлаждащи механизми и навигационни устройства [4], както и използване на алтернативни огнеупорни материали за намаляване на разходите. При структурното пожарникарско облекло термоподплатата е основният компонент за защита от топлинен пренос и обикновено представлява дебел ватен или нетъкан слой [5].

По-иновативни решения включват използване на триизмерни разделителни текстили, при които два слоя огнеупорна тъкан са свързани чрез еластични монофиламентни нишки, създаващи стабилно въздушно пространство [6]. Тези структури осигуряват висока устойчивост на компресия и запазват изолационните си свойства

дори при механично натоварване, каквото се наблюдава в областта на раменете при носене на тежко оборудване [7].

Допълнителни подходи включват перфорирани паяни със затворени клетки и конструкции, разчитащи на създаване на мъртво въздушно пространство чрез гофрирани мрежести материали [8]. За подобряване на термичния комфорт са предложени и дистанционни елементи, разположени в зони с висока метаболитна топлинна продукция [5].

Единственото идентифицирано решение, насочено към защита на горната част на торса и ръцете, представлява допълнително термозащитно яке, носено върху стандартното защитно облекло [9]. Макар ефективно, това решение увеличава теглото и сложността на екипировката.

Разработен е прототип на полушуба за пожарникари с локално интегрирани 3D дистанционни тъкани в критични зони (рамене, лакти, гръб). Конструкцията е съобразена с изискванията за ергономичност и съвместимост с оборудването.

Резултати и обсъждане

Резултатите от проведените изследвания показват, че внедряването на 3D текстил води до съществени подобрения в характеристиките на пожарникарското облекло [10].

Таблица 1. Структура и функции на 3D дистанционен текстил

Слой	Материал	Функция
Горен слой	Мета-арамид	Защита от пламък
Долен слой	FR вискоза	Комфорт
Дистанционен слой	Монофиламенти	Въздухонизолация

Конструкция на облеклото

Таблица 2. Сравнение между стандартна и 3D конструкция

Показател	Стандартно облекло	3D облекло
Брой слоеве	3–4	3 + 3D зона
Тегло	Високо	Средно
Комфорт	Среден	Висок
Термозащита	Висока	Много висока

3D дистанционните тъкани демонстрират по-ниска скорост на топлопреминаване в сравнение с конвенционалните нетъкани материали, което се дължи на наличието на въздушен слой между структурните елементи.

Освен това се наблюдава висока устойчивост на компресия, което позволява запазване на термоизолационните свойства при натиск, движение и използване на оборудване, доказано чрез прилагане на стандартите за изпитване и контрол на качеството на средствата за индивидуална защита [11]. Това е особено важно в реални експлоатационни условия, при които облеклото е подложено на механични деформации.

Допълнително предимство е подобрената ергономичност. Пространствената структура на 3D текстила улеснява движенията и намалява умората при продължителна работа.

Сравнението с традиционните многослойни системи показва, че локалното приложение на 3D текстил позволява оптимизиране на защитата без значително увеличаване на масата и дебелината на облеклото.

Заклучение

Настоящото изследване доказва потенциала на триизмерните текстилни структури за приложение в пожарникарското облекло.

Основните изводи са:

- 3D дистанционните тъкани подобряват термоизолационните свойства;
- осигуряват стабилност при компресия и запазване на защитните характеристики;
- повишават комфорта и свободата на движение;
- позволяват ефективна локална защита без увеличаване на теглото.

Внедряването на такива материали представлява перспективно направление за развитие на съвременното защитно облекло за пожарникари.

Литература

- [1] NFPA. Firefighter Injuries Report, 2023.
- [2] Horrocks, A. R., Anand, S. C. Handbook of Technical Textiles.
- [3] Сашо Александров, Краса Костова, Петя Генчева, Получаване на влакнести композиционни материали чрез трансфер на полимерно свързващо вещество, XXII научна конференция с международно участие EMF 2017, ENERGY-ECOLOGY-COMFORT-SELF-CONFIDENCE, ISSN 1314-5371, (2017), 101 - 104.
- [4] Краса К. Костова, Албена П. Бъчварова, Мими Д. Сербезова, Многофункционална тъкан на база нанокompозити и тъкан с военно снаряжение и екипировка. Сравнителни изследвания, Международна научна конференция "ХЕМУС 2008", „Изследвания и технологии за нуждите на отбраната и въоръжените сили“, Пловдив, Сборник с доклади ISSN 1312–2916, (2008), I-294-300, 2008
- [5] Barbeau, E., Keiser, S., & Rossi, R. (2019). Fire-fighter protective clothing: Thermal protection and physiological comfort. U.S. Patent No. 10,245,454 B2. eko
- [6] Flay, N., et al. (2007). Fire insulation barrier material. U.S. Patent Application No. 2007/0284558 A1.
- [7] Bibeau, G. (2016). Insulating garment for bunker gear. Canadian Patent No. 2,919,104 C.
- [8] Grilio, A., & Grilio, J. (1991). Lightweight firefighter protective clothing. U.S. Patent No. 5,001,783 A.
- [9] Butzer, R., & Coombs, J. (1995). Thermal protective jacket for firefighters. U.S. Patent No. 5,406,648 A.
- [10] Keitch, R. (2014). Textile spacer fabric. European Patent No. 2,707,529 B1.
- [11] Петя Генчева, Краса Костова, Николай Стойчев, Сашо Александров, Стандарти за изпитване и контрол на качеството на средствата за индивидуална балистична защита, Международна научна конференция "ХЕМУС 2016", „Отбрана, антитероризъм и сигурност“, Пловдив, ISSN 1312–2916, (2016) I-226-232.
- [12] Song G., S. Mandal, R. Rossi, Thermal Protective Clothing for Firefighters, 1st Edition - August, 2016, ISBN: 9780081012857
- [13] Sparks E., Advances in Military Textiles and Personal Equipment, 1st Edition - July 13, 2012, ISBN: 9781845696993