

ТЕКСТИЛ ОБЛЕКЛО

TEXTILE AND GARMENT MAGAZINE

НТС

по текстил,
облекло

и кожи

www.tok.fnts.bg

1

2026

година
LXXVIII

от 1949 г.

Open access: CC BY-NC

ISSN 1310-912X (Print)

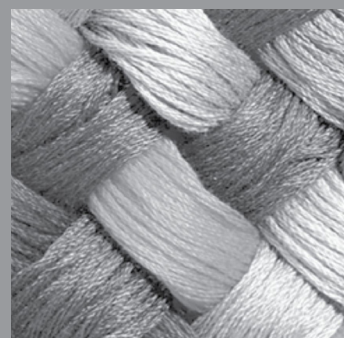
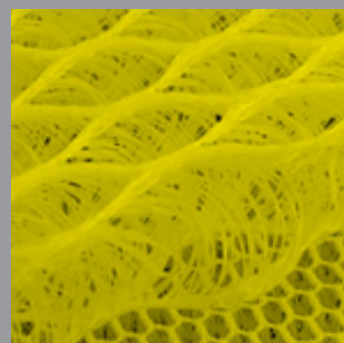
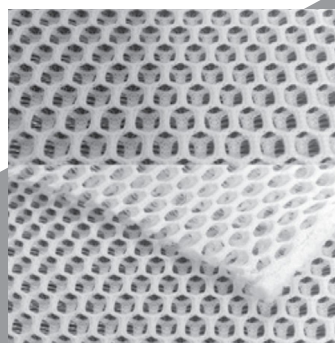
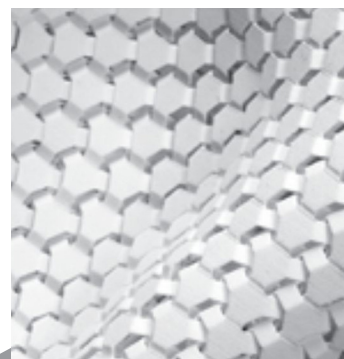
ISSN 2603-302X (Online)

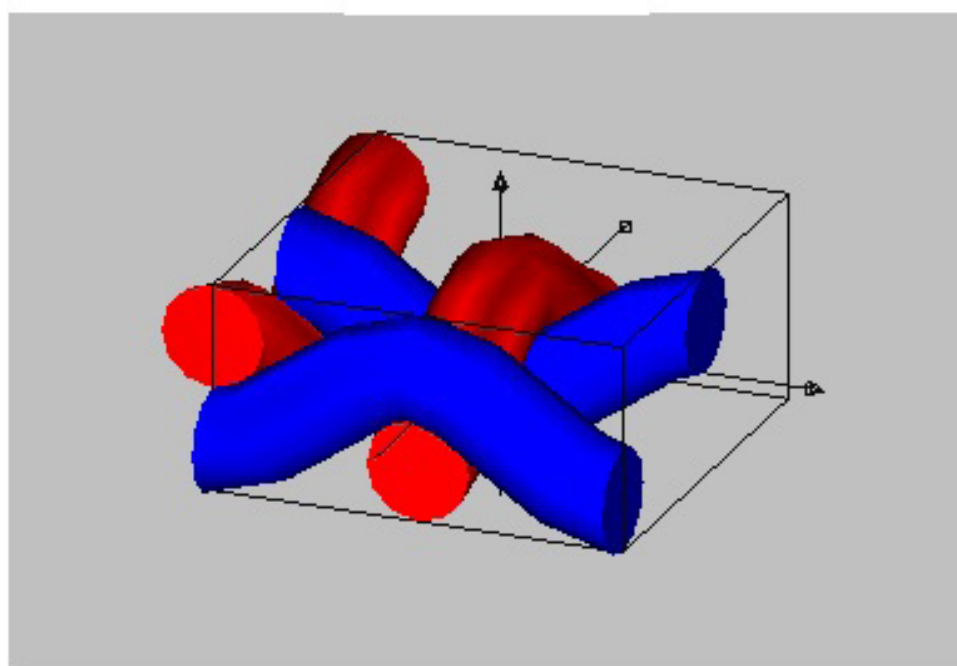
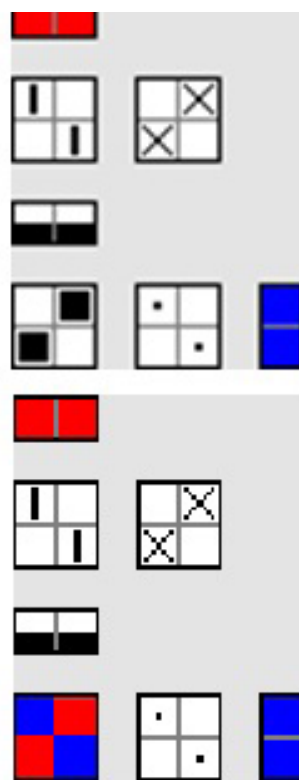
COBISS.BG-ID – 74291208

<https://randii.nacid.bg/register/search/1987>

www.bgtextilepublisher.org

<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X>





$$T \frac{1.}{.1} Z, R_a = R_c = R_t = 2$$

Тъкачна постановка на лито

ТЕКСТИЛ ОБЛЕКЛО

НСТ по текстил,
облекло и кожи



www.tok.fnts.bg

БРОЙ 1/2026
Open access: CC BY-NC

СЪДЪРЖАНИЕ

УДК

- 678 ЕЛЕКТРООВЛАКНЯВАНЕ: ПРОИЗВОДСТВО НА НАНОВЛАКНА ЗА
ТЕКСТИЛНИ ПРИЛОЖЕНИЯ
A. Sezai Sarac, Viktor Soprunyuk, Selin Gumrukcu, Baran Sarac, Wilfried Schra
nz..... 3
<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2026.0001.01>
- 677 ПРИЛОЖЕНИЕ НА 3D ТЕКСТИЛ В ПОЖАРНИКАРСКОТО ОБЛЕКЛО
Андрей Белчев, Умме Капанък..... 13
<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2026.0001.02>
- 687 КОНЦЕПТУАЛНА РАМКА ЗА AI-АСИСТИРАНО ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧНО
ПОДПОМАГАНЕ В ШЕВНОТО ПРОИЗВОДСТВО КАТО ЧАСТ ОТ ПРОЕКТА
SMART-SEW
Фатме Ифраим Юмер..... 19
<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2026.0001.03>

НАУЧНА ОБЛАСТ. Статиите отразяват разработки и решения от текстилната наука и практика.
Те се отнасят към някоя от областите според УДК:

- 33, Икономика. Икономически науки.
377, Специално образование. Професионално образование. Професионални училища.
378, Висше образование / Висши учебни заведения
677, Текстилна промишленост. Технология на текстилните материали.
678, Промисленост на високомолекулярните вещества. Каучукова промишленост.
Пластмасова промишленост.
687, Шивашка промишленост.
745/749, Приложно изкуство. Художествени занаяти. Интериор. Дизайн.
658.512.23, Художествено конструиране (промишлен дизайн).

Адрес на редакцията:

1000 София, ул. "Г. С. Раковски" 108, стая 407, тел. 02 980 30 45

e-mail: textilejournal.editor@fnts.bg

www.bgtextilepublisher.org

Банкова сметка:

НТС ПО ТЕКСТИЛ, ОБЛЕКЛО И КОЖИ

ИН по ДДС: BG 121111930

Сметка IBAN: BG43 UNCR 9660 1010 6722 00

ISSN 1310-912X (Print)

ISSN 2603-302X (Online)

COBISS.BG-ID – 74291208

<https://randii.nacid.bg/register/search/1987>

ADOBE InDesign 65244684

<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2026.0001>

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

доц. д-р инж. Ивелин Рахнев, главен редактор доц. д-р инж. Мария Спасова, ИП-БАН, технически редактор

проф. д-р Снежина Андонова
проф. д-р Десислава Грабчева
проф. дн Радостина Ангелова
проф. д-р Златина Казлачева
доц. д-р Радка Атанасова
доц. д-р Дарина Желева
доц. д-р Ива Добрева-Драгостинова

доц. д-р Стела Балтова
доц. д-р Татьяна Христова-Поповска
доц. д-р Борислав Стоянов
доц. д-р Капка Манасиева
гл. ас. д-р Незабравка Попова-Недялкова
гл. ас. д-р Николай Божилов
д-р инж. Росица Николова Крюгер

ЧУЖДЕСТРАНЕН НАУЧЕН КОМИТЕТ

проф. д-н Жан-Ив Дреан – УЮЕ, Мюлуз, Франция
доц. д-р ЧУ Диъо Хуонг – ХУНТ, Ханой, Виетнам
проф. д-н Йордан Кьосев – ТУ – Дрезден, Германия
проф. д-р Горан Дембоски – Университет Св. св. Кирил и Методий, Скопие, Македония
проф. д-н Сабер Бен Абдесалем – Национално инженерно училище в Монастир, Тунис
проф. д-р Хале Каракаш – ТУ - Истанбул, Турция
проф. д-р Драган Джорджевич - Университет на Ниш, Сърбия

ИНФОРМАЦИЯ ЗА АВТОРИТЕ

ПРАВИЛА ЗА ДЕПОЗИРАНЕ И ПУБЛИКУВАНЕ НА СТАТИИ

Подаването на докладите трябва да се адресира до редакцията на имейл: textilejournal.editor@fnts.bg
Докладите трябва да са написани на български език от български автори и на английски (работен език за чуждестранните автори).

Споразумение за прехвърляне на авторски права трябва да бъде подписано и върнато на нашата редакция по поща, факс или имейл, колкото е възможно по-скоро, след предварителното приемане на доклада. С подписването на това споразумение авторите гарантират, че целият труд е оригинален и не е бил публикуван, изпращан е само в списанието и че целият текст, данни, фигури и таблици, включени в труда са оригинални и непубликувани преди това или подавани другаде в каквато и да е форма. Процесът на рецензиране започва след получаване на този документ. В случай, че докладът вече е представян, той може да бъде публикуван в нашето списание, само ако не е бил публикуван в общодостъпни материали от конференцията; при такава ситуация трябва да се направи съответното изявление, което се поставя в редакционните бележки в края на статията.

Общи стил и оформление

Обемът на доклада не трябва да надвишава 12 стандартни страници (A4) в една колона (страница от 3600 знака), вкл. таблици и фигури. Форматът е MS Office Word (normal layout). Рецензентите си запазват правото да съкратят статията, ако е необходимо, както и да променят заглавията.

Заглавието на доклада не трябва да надвишава 120 знака.

Пълните имена на авторите, както и пълните наименования на институциите, в които работят - факултети, катедри, университети, институти, компании, град и държава трябва да са ясно посочени. Авторът за кореспонденция и неговият имейл трябва да бъдат също така указани.

Резюмето на доклада е задължително и не трябва да надвишава 250 думи.

Ключовите думи трябва да са в рамките на 4 до 6.

Формулите се номерират в последователен ред (с арабски цифри) и трябва да са споменавани в текста.

Фигурите се вграждат директно в текста в **формат JPG с минимум 300 dpi**. Фигурите трябва да са номерирани, със заглавие и обяснителен текст.

Таблиците също се вграждат в текста, номерират се последователно и се озаглавяват над самата таблица.

Повтарянето на информация трябва да се избягва.

Препратки: всички препратки в текста трябва да се цитират с числова последователност по ред на появяване в текста (изписвани чрез арабски цифри в латински скоби, напр. [1]) и изписани цифри в квадратни скоби според системата Ванкувър.

Повтарянето на информация трябва да се избягва.

Препратки: всички препратки в текста трябва да се цитират с числова последователност по ред на появяване в текста (изписвани чрез арабски цифри в латински скоби, напр. [1]) и изписани цифри в квадратни скоби според системата Ванкувър.

ЕЛЕКТРООВЛАКНЯВАНЕ: ПРОИЗВОДСТВО НА НАНОВЛАКНА ЗА ТЕКСТИЛНИ ПРИЛОЖЕНИЯ

ELECTROSPINNING: NANOFIBER PRODUCTION FOR TEXTILE APPLICATIONS

A. Sezai Sarac^{1*}, Viktor Soprunyuk², Selin Gumrukcu³, Baran Sarac⁴,
Wilfried Schranz²

¹Polymer Science and Technology, Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye

²Faculty of Physics, Physics of Functional Materials, University of Vienna, Vienna, Austria

³Department of Chemistry, Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye

⁴Chair of Casting Research, Montanuniversität Leoben, Leoben, Austria

sarac@itu.edu.tr

Abstract:

The growing demand for advanced textile materials with enhanced functionality has driven intensive research in nanofiber production technologies. Electrospinning has emerged as one of the most versatile, efficient, and cost-effective methods for fabricating nanofibers with controlled morphology and composition. This paper presents an overview of the principles, processes, and applications of electrospinning technology, emphasizing its integration into modern spinning systems and textile manufacturing. Special attention is given to the development of processes and devices for electrospinning that enable scalable production and the creation of innovative textile materials. The discussion highlights the potential of electrospun nanofibers for functional material design, including our work on magnetic polyacrylonitrile (PAN) composites that offer tunable properties for diverse applications in smart textiles, biotechnology, energy, and environmental engineering. The textile industry is undergoing a transformation driven by the need for lightweight, multifunctional, and sustainable materials. Traditional spinning technologies, while highly developed, face limitations in producing nanoscale fiber structures with unique surface area and mechanical properties. Electrospinning, a process that utilizes electrostatic forces to draw fine fibers from polymer solutions or melts, bridges this gap, allowing for the creation of fibers with diameters ranging from tens of nanometers to a few micrometers, opening new possibilities in textile engineering and material science.

Keywords: *Electrospinning; nanofibers; magnetic nanoparticles; polyacrylonitrile; textile engineering; functional textiles*

1. Introduction and Overview

Intense research into nanofiber production technologies is being driven by the increasing need for high-performance textile materials. As a high-precision fiber-formation technique, electrospinning has become a premier choice for fabricating nanofibers with precise control over their morphology and composition. It is renowned for its ability to efficiently generate continuous fibers across a wide diameter spectrum, typically from sub-100 nanometers to several micrometers, while remaining both versatile and cost-effective [1]. This capacity for producing continuous, ultra-fine fibers—a feature largely unmatched by conventional fiber drawing—has positioned electrospinning as a core strategic pathway for the future of the textile industry. The technology facilitates the creation of materials that meet rigorous new performance benchmarks, primarily through the exceptional high surface-area-to-volume ratio (often thousands of times greater than conventional fibers) and the readily customizable high porosity (often exceeding 70-90%) of the resulting nanofiber mats [2].

The exceptional versatility of electrospinning is its core strength, enabling the formation of functional textiles and advanced material matrices from an extraordinarily broad array of precursors, including synthetic and natural biopolymers, as well as crucial functional components like ceramics and metal oxides (such as iron oxide), which impart specialized properties such as thermal stability or magnetism [3]. These attributes yield unique collective properties in the resulting nonwoven mats, such as high flexibility, exceptional filtering capabilities, and extraordinary surface reactivity, opening doors to applications from medical filtration to energy storage. While the transformative potential is clear, a critical challenge remains: the viable and cost-effective integration of electrospun nanofibers into conventional, high-volume textile manufacturing [2]. This requires overcoming current scale-up limitations and

implementing recent device innovations focused on drastically increasing production throughput and optimizing material handling [2, 3].

This study summarizes the underlying fundamentals of the technology and the device innovations needed for industrial adoption, and the thermomechanical properties of confined magnetic nanoparticles within an electrospun polyacrylonitrile (PAN) nanofiber matrix. Additionally, the magnetic PAN composite nanofibers we previously reported serve as a case study to effectively illustrate the essential connection between the production method, the resultant morphology, and the final functional parameters of the material. [4].

2. Fundamentals of Electrospinning

2.1. Basic Principle and Electrostatic Forces

Electrospinning is an electrically driven process that harnesses electrostatic forces to draw a viscoelastic polymer solution or melt into continuous ultrafine fibers [1–3]. The fundamental laboratory setup (Figure 1) is deceptively simple, consisting of three main components: a high-voltage power supply, a spinneret (usually a metal needle) delivering the polymer fluid and a grounded collector (typically a flat plate or a rotating drum) [1–3].

The process begins when a high-voltage electric field (ranging typically from 5 kV to 50 kV, depending on the setup and material) is applied across the gap. This field induces charge accumulation on the surface of the polymer fluid droplet at the needle tip, which is then shaped by competing forces: the surface tension of the liquid trying to maintain a spherical droplet, and the electrostatic repulsion between the surface charges trying to force the liquid apart. When the repulsive electrostatic force overcomes the surface tension, the droplet elongates into a characteristic conical shape known as the Taylor cone. From the apex of this cone, a fine, charged liquid jet is ejected.

As this jet travels toward the collector, two critical

phenomena occur simultaneously: the solvent evaporates (or the polymer melt solidifies), and the jet undergoes a complex bending or whipping instability. This instability—a rapid, chaotic lateral deflection of the jet path—is crucial. It subjects the jet to immense tensile and shear forces, stretching the jet

by several orders of magnitude and causing its diameter to collapse from micrometers to nanometers before it is deposited onto the collector. This final process grants researchers and engineers high control over the resulting fiber orientation and the final morphology (e.g., solid, porous, core-shell) [1, 3].

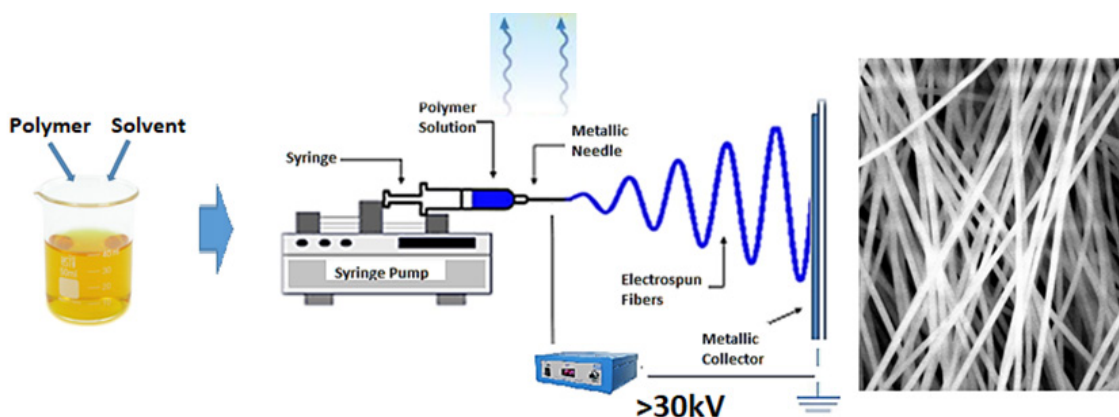


Figure 1. Basic electrospinning setup (Lab-scale)

2.2. Interplay of Critical Process Variables

The final characteristics of the nanofiber (including diameter, alignment, mat porosity, and surface quality) are determined by the precise and complex interplay of three major groups of variables [2, 3]:

1. Solution/Melt variables (material parameters): Polymer concentration and molecular weight (determining viscosity and entanglement), conductivity (enhancing stretching), and solvent volatility (influencing evaporation rate and fiber porosity).

2. Process variables (operational parameters): The applied voltage (influencing jet stability and stretching), polymer feed flow rate (affecting fiber thickness), and the tip-to-collector distance (allowing time for solvent evaporation).

3. Ambient factors (environmental conditions): The surrounding temperature and humidity (which influence mass transfer dynamics and final fiber morphology).

3. Process–Structure–Property Linkage and Scalability

3.1. Process–Structure–Property Linkage

For textile applications, the process–structure–property linkage is central. Tuning the process variables achieves desired structural features (fiber diameter, alignment, pore size, and mat porosity), which then directly govern final performance properties crucial for advanced textile integration [3]. Table 1 explains the structural characteristics that directly control the resulting textile performance of the fiber mats:

- **Breathability and filtration efficiency:** Governed by pore size; ultrafine fibers enhance particle removal while maintaining air permeability.
- **Mechanical strength and durability:** Influenced by fiber alignment and polymer matrix integrity.
- **Functional attributes:** Properties like conductivity, antimicrobial action, and sensing capability, imparted by incorporating functional additives or controlling fiber architecture.

Table 1. Structural feature of the fiber, its direct influence and resulting performance of the fibers

Structural Feature	Directly Governs	Resulting Textile Performance
Fiber diameter	Surface area, flexibility	High adsorption capacity, soft feel.
Pore size & porosity	Tortuosity, air permeability	Enhanced filtration efficiency while maintaining high breathability.
Fiber alignment	Anisotropy, mechanical properties	Aligned fibers create superior mechanical strength/directionality; random fibers provide isotropic strength.
Fiber morphology	Drug release kinetics, encapsulation efficiency	Core-shell fibers enable sustained drug release or self-healing functionality.

3.2. Device innovations for scalability

To overcome the low throughput of single-needle systems and facilitate roll-to-roll continuous industrial manufacturing, focus has shifted entirely to high-throughput device innovations [2, 3]:

- Needleless electrospinning systems: Generate multiple, stable polymer jets simultaneously from a free surface (e.g., a rotating wire or disk), significantly mitigating flow rate limitations [5].
- Continuous collection and hybrid spinning lines: Utilize rotating drums or endless belt conveyors for continuous deposition onto moving substrate belts. Hybrid spinning lines deposit the nanofiber web directly onto pre-existing conventional textile substrates for mechanical support.
- Controlled manufacturing environments: Enclosed chambers that maintain precise control over ambient factors, incorporate solvent recovery systems for safety, and allow for essential in-line

post-treatments (e.g., crosslinking, lamination) to ensure durability [2].

4. Specific Polymers in Electrospun Nanofibers

Polymers are classified into synthetic and natural categories. Synthetic polymers offer reproducibility and tunable mechanical properties [5, 6], while natural polymers are favored for their inherent biocompatibility and resemblance to the native extracellular matrix.

A compilation of synthetic and natural polymers employed in electrospinning is provided in Tables 2 and 3, which summarize their key characteristics, advantages, and primary applications across several fields, including tissue engineering, drug delivery, filtration, and protective textiles.

4.1. Synthetic Polymers

Table 2. List of some of synthetic polymers used in electrospinning

Polymer Name	Abbreviation	Key Characteristics & Advantages	Primary Applications
Polycaprolactone	PCL	Semi-crystalline, highly biocompatible, very slow degradation rate.	Long-term drug delivery, tissue engineering for minimally stressed implants [7, 8]
Poly(lactic acid)	PLA	Excellent mechanical strength, FDA-approved, derived from renewable resources.	Scaffolds for orthopedic applications, food packaging [9]
Poly(lactic-co-glycolic acid)	PLGA	Amorphous copolymer; degradation rate is easily tuned by LA:GA ratio.	Controlled release drug delivery systems, surgical implants [10, 11]
Polyethylene Oxide	PEO	Highly water-soluble, non-toxic; frequently used as an electrospinning aid.	Hydrophilic blends, fast-dissolving drug delivery [12, 13]
Polyvinyl Alcohol	PVA	Highly crystalline, excellent tensile strength when crosslinked; water-soluble.	Filtration membranes, humidity sensors, hydrogel-based wound dressings [14, 15]
Polyurethane	PU	Excellent elastomer properties, outstanding fatigue resistance, tailored biocompatibility.	Flexible medical implants (vascular grafts), high-performance protective textiles [16, 17]

4.2. Natural Polymers

Table 3. List of some of natural polymers used in electrospinning

Polymer Name	Type	Key Characteristics & Advantages	Primary Applications
Collagen	Protein	Main component of the natural ECM; promotes high cell adhesion.	Tissue engineering (skin, bone), advanced wound healing scaffolds [18, 19]
Gelatin	Denatured Collagen	Excellent cell attachment and proliferation promoter; easier to process than native collagen.	Drug encapsulation, general tissue scaffolds [20, 21]
Chitosan	Polysaccharide	Naturally antimicrobial and hemostatic properties; degrades into harmless products.	Antimicrobial filters, wound dressings [22]
Silk Fibroin	Protein	Exceptional combination of mechanical strength and toughness; slow and controllable degradation.	Hard tissue scaffolds, high-performance sutures [23]
Fibrinogen	Protein	Key component of the blood-clotting cascade; high native cell affinity.	Vascular and neural tissue engineering, hemostatic agents [24]

5. Applications in Textile Engineering

5.1. Smart and Functional Fabrics

The demand for smart and functional fabrics necessitates the integration of responsive and conductive materials (e.g., Graphene oxide, magnetic particles, etc.) to achieve advanced properties [3]. The fabrication of functionalized textiles is essential for advanced technologies, including wearable electronics, EMI shielding, and self-cleaning surfaces. Our magnetic PAN nanofiber system [4] specifically addresses the requirement for EMI Shielding materials and provides responsive functionalities. The literature has previously demonstrated the significant potential of these responsive materials for remote sensing and actuation [25, 26, 27].

5.2. Sustainable and Green Textiles

Demand for sustainability is met through green-process electrospinning, focusing on bio-based/biode-

gradable polymers (e.g., chitosan, silk fibroin) and water-based or low-toxicity solvent systems [3, 12]. Additionally, electrospinning enables structurally colored fibers—a dye-free solution where color derives from light manipulation by engineered nanostructures (photonic crystals), eliminating hazardous chemical colorants [3].

5.3. Biomedical and Medical Textiles

Polymer nanofibers are revolutionizing drug delivery and tissue regeneration (Figure 2). Their high surface area allows for stable incorporation and sustained, localized, and controlled release of drugs [10, 28, 29, 30]. Electrospun mats closely mimic the natural extracellular matrix (ECM), promoting cell proliferation essential for tissue repair, serving as advanced wound dressings or tissue-scaffold materials [32].

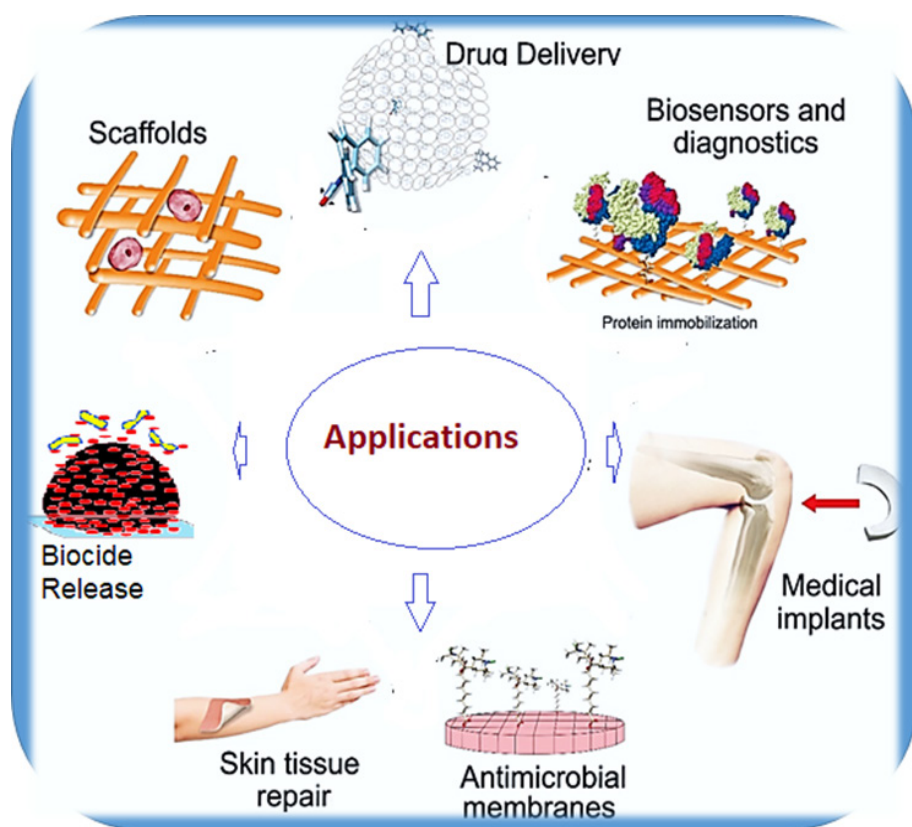


Figure 2. Future fabric: Developing advanced textiles through electrospinning & Revolutionizing textiles for biomedical and beyond

6. Key Research Results: Magnetic PAN Nanofibers

Our research is centered on enhancing Polyacrylonitrile (PAN) nanofibers through the incorporation of magnetic ferrite nanoparticles directly into the fiber matrix [4]. This modification integrates advanced functional capability into the textile

structure, as detailed in our comprehensive study of the thermomechanical properties of these confined particles. Figures 3 and 4 show the SEM, EDX, FTIR, and thermomechanical (DMA) results (comparison in Table 4) obtained for the PAN nanofibers containing some ferrite nanoparticles.

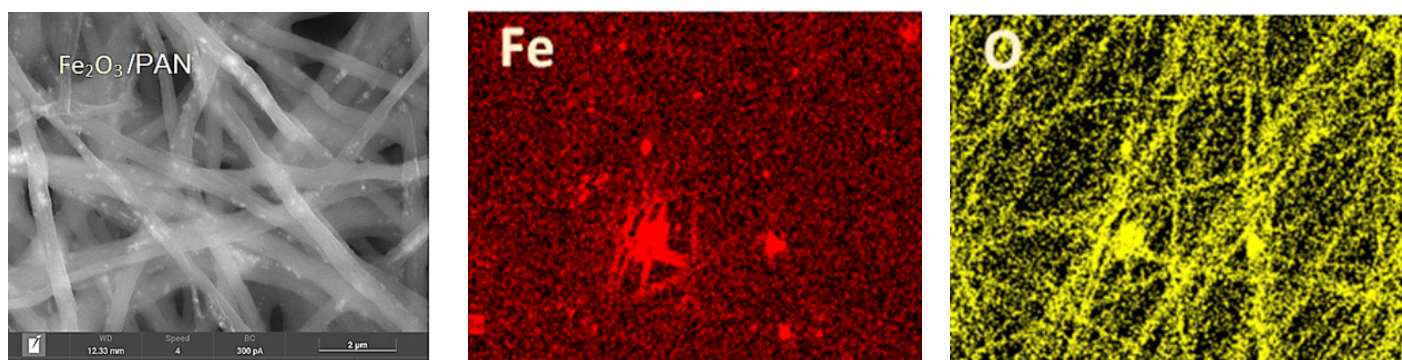


Figure 3. SEM and EDX of γ -iron oxide nanoparticles containing Polyacrylonitrile composite nanofibers. [Adapted from B. Sarac, V. Soprunyuk, G. Herwig, S. Gümrükçü, E. Kaplan, E. Yüce, W. Schranz, J. Eckert, L. F. Boesel and A. S. Sarac, *Nanoscale Adv.*, 2024, 6, 6184, DOI: 10.1039/D4NA00631C. Reproduced from an open access article under a Creative Commons Attribution (CC BY) license (RSC).]

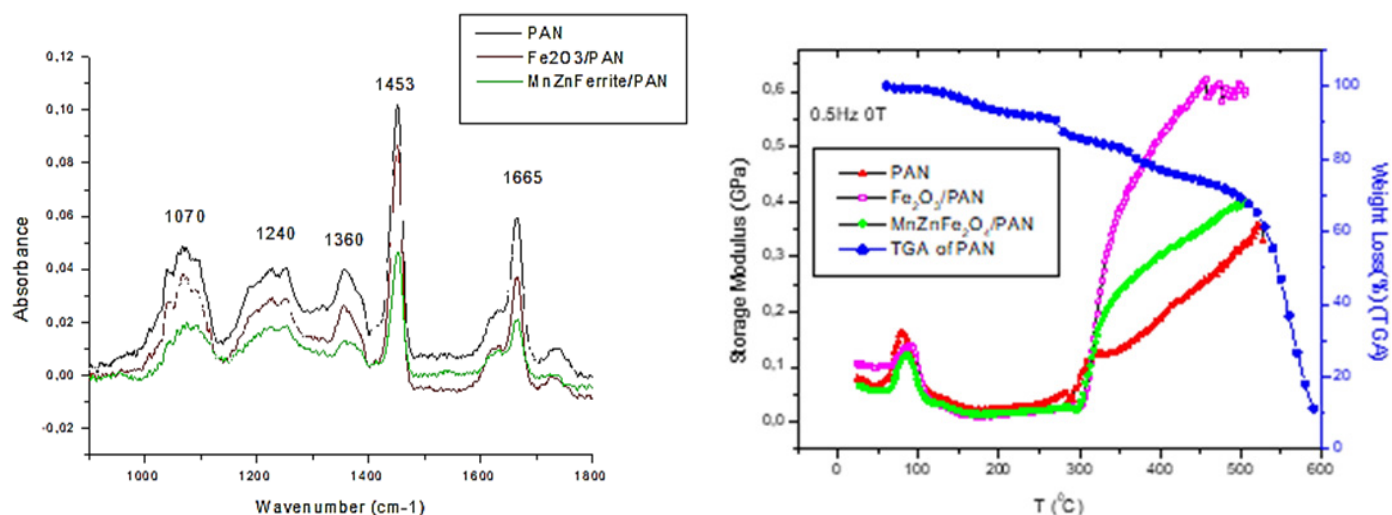


Figure 4. Comparative FTIR and thermomechanical measurements of Polyacrylonitrile(PAN) and composite (γ -iron oxide, MnZn-Ferrite nanoparticles containing) nanofibers[6]. [Adapted from B. Sarac, V. Soprunyuk, G. Herwig, S. Gümrükçü, E. Kaplan, E. Yüce, W. Schranz, J. Eckert, L. F. Boesel and A. S. Sarac, *Nanoscale Adv.*, 2024, 6, 6184, DOI: 10.1039/D4NA00631C. Reproduced from an open access article under a Creative Commons Attribution (CC BY) license (RSC).]

Table 4. Thermomechanical Properties of Magnetic PAN Nanofibers (4)

Study/Method	Key Finding / Result	Textile Relevance
Dynamic Mechanical Analysis (DMA)	The magnetic Polyacrylonitrile (PAN) nanofibers exhibited pronounced magneto-mechanical coupling when subjected to a magnetic field, resulting in an observable increase in both the glass transition temperature (T_g) and the storage modulus (E')	DMA confirms that the material's stiffness and damping can be changed remotely using an external field. This feature is crucial for applications requiring adjustable mechanical performance, such as wearable actuators and tunable shock absorbers.
Thermal Treatment (Cyclization)	Controlled thermal treatments promoted cyclization of the PAN polymer chains.	Leads to improved thermal stability and modified chemical bonding, making fibers suitable for high-temperature processing or carbon fiber precursors.
Microstructural Analysis	Confirmed structural changes (cyclization) and strong physicochemical interactions between the magnetic domains and the polymer matrix.	Validates the stabilization strategy and confirms the potential for designing robust, multifunctional devices where fiber properties can be actively controlled.

7. Industrial Adoption, Challenges, and Future Directions

Industrial adoption faces hurdles, including low production rate, the necessity of replacing toxic solvents, cost-effective scalability, ensuring uniformity, managing HSE (Health, Safety, and Environment) concerns, and achieving durability against textile handling [2, 6].

The future trajectory of electrospun textiles will focus on:

- 1. Process Innovation:** Development of needleless systems and roll-to-roll continuous production lines [5].
- 2. Sustainability:** Prioritizing water-based systems and biodegradable polymers [6].
- 3. Product Evolution:** Advancing toward hybrid textile–nanofiber systems for smart textiles and IoT integration [5].

Conclusion

Electrospinning is confirmed as a critical and transformative fabrication platform for the future of textiles, offering capabilities that move significantly beyond traditional manufacturing methods. Its ability to produce continuous nanofibers with controlled morphology is key to functional enhancement, delivering materials with an exceptional high surface-area-to-volume ratio and tunable porosity. This technology is a fundamental enabler of sustainable and smart textile innovation through:

- **Structurally colored fibers:** A sustainable, dye-free alternative using engineered photonic nanostructures.
- **Self-healing materials:** Enhancing durability via autonomous damage repair mechanisms.
- **Advanced smart textiles:** Providing flexible, conductive, and responsive fabrics ideal for wearable electronics and advanced sensing capabilities, exemplified by the magneto-responsive PAN

composite systems.

However, the major obstacles to market penetration remain low production rates, the necessity of replacing toxic solvents with greener alternatives, and the need to improve economic feasibility for large-scale manufacturing. Overcoming these scale-up issues through innovations in needleless and continuous processing is essential for widespread commercial adoption. In summary, electrospinning integrates nanotechnology, material science, and textile engineering to redefine functional textiles, promising a new generation of high-performance, sustainable, and sophisticated materials.

References

- [1] El Fawal, G. Polymer Nanofibers Electrospinning: A review. *Egyptian J. Chem.* 2020, 63 (4), 1279–1303. DOI: 10.21608/EJCHEM.2019.14837.1898.
- [2] Nadaf, A.; Gupta, A.; Hasan, N.; Ahmad, K.; Singh, P.; Sankar, M. R.; Mulla, S. I.; Koli, S. K.; Deshmukh, A. M.; Nadaf, N. H. Recent update on electrospinning and electrospun nanofibers: current trends and their applications. *RSC Adv.* 2022, 12, 23808–23828. DOI: 10.1039/D2RA02864F.
- [3] Fadil, F.; Aibinu, A. M.; Tabil, L.; Jamil, N. A. Review on Electrospun Nanofiber-Applied Products. *Polymers* 2021, 13 (13), 2087. DOI: 10.3390/polym13132087.
- [4] Sarac, B.; Soprunyuk, V.; Herwig, G.; Gumrukcu, S.; Kaplan, E.; Yüce, E.; Schranz, W.; Eckert, J.; Boesel, L.; Sarac, A. S. Thermomechanical properties of confined magnetic nanoparticles in electrospun polyacrylonitrile nanofiber matrix exposed to a magnetic environment: structure, morphology, and stabilization (cyclization). *Nanoscale Adv.* 2024, 6, 6184–6195. DOI: 10.1039/D4NA00631C.
- [5] Mirjalili, M.; Zohoori, S. Review for application of electrospinning and electrospun nanofibers technology in textile industry. *J. Nanostruct. Chem.* 2016, 6, 207–213. DOI: 10.1007/s40097-016-0189-y.
- [6] Ibrahim, H. M. A review on electrospun polymeric nanofibers: Production parameters and potential applications. *Polym. Test.* 2020, 91, 106647.
- [7] Sharma, M. S.; Rawat, S.; Chhikara, N. Electrospinning for Biomedical Applications: An Overview of Material Fabrication Techniques. *Biomed. Sci. Eng.* 2024, 8 (1), 7.

Acknowledgements

This paper, developed within the framework of the Erasmus+ project (TOK25_2025-1-BG01-KA210-ADU-000363229-BE), by reviewing electrospinning with a specific focus on functionalized systems, detailing the fundamentals, device innovations, and key findings from previous results of our group on the work of thermomechanical properties of confined magnetic nanoparticles in electrospun polyacrylonitrile nanofiber matrix.

- [8] Zaim, Z. M.; Fathullah, A. M. H. S.; Mohd, N.; Fauzi, S. Application Progress of Multi-Functional Polymer Composite Nanofibers Based on Electrospinning: A Brief Review. *J. Funct. Biomater.* 2024, 15 (2), 101.
- [9] Castro, M. J.; Lemos, A.; Silva, E. P.; Viana, J. C.; Lanceros-Méndez, S. A review on the processing and properties of PLLA-based nanofibers obtained by electrospinning and their applications. *RSC Adv.* 2020, 10 (37), 21782–21805.
- [10] Makadia, H. K.; Siegel, S. J. Poly Lactic-co-Glycolic Acid (PLGA) as Biodegradable Controlled Drug Delivery Carrier. *Polymers* 2011, 3 (3), 1377–1397.
- [11] Razavi, M. S.; Momeni, M.; Vahabi, M.; Gholami, S.; Mahdavi, R.; Javanmardi, A.; Shafiei, M.; Bahrami, S. Recent advances in PLGA-based nanofibers as anticancer drug delivery systems. *J. Drug Delivery Sci. Technol.* 2023, 85, 104587.
- [12] Sun, B.; Wang, S.; Wang, S.; Li, C. A review of the electrospinning of poly(ethylene oxide) nanofibers and their applications. *J. Polym. Res.* 2020, 27 (5), 154.
- [13] Dinarvand, R.; Dinarvand, R.; Dinarvand, R.; Dinarvand, R.; Dinarvand, R.; Dinarvand, R.; Dinarvand, R.; Dinarvand, R.; Dinarvand, R. Polyethylene oxide (PEO) based electrospun nanofibers for biomedical applications: A review. *Int. J. Nanomed.* 2011, 6, 2855–2867.
- [14] Ghasemi-Mobarakeh, L.; Kolahreez, D.; Hosseinjani, E.; Eltukhi, E. A.; Ramakrishna, S. Polyvinyl alcohol (PVA) and PVA-based electrospun nanofibers for biomedical applications: A review. *Mater.*

Sci. Eng. C 2019, 95, 245–256.

[15] Allizond, V.; Banche, G.; Salvoni, M.; Bracco, P.; Allizond, F. A. List of FDA approved polymers used in the formation of Electrospun nanofibers. *Int. J. Polym. Mater.* 2025, 74 (14).

[16] Zong, X.; Kim, K.; Fang, D.; Ran, S.; King, M. W.; Zhang, Q.; Wang, S.; Lee, K. K.; Ramakrishna, S. Poly(ester-urethane) and Poly(ether-urethane) Electrospun Fibers for Tissue Engineering Scaffolds. *J. Biomater. Sci., Polym. Ed.* 2002, 13 (2), 163–175.

[17] Dhiman, S.; Rawat, M.; Sridharan, V.; Bakhshi, V.; Sharma, S.; Dhiman, S. S.; Yadav, D. Polyurethane based functionalized electrospun nanofibrous scaffolds for biomedical applications: A review. *Mater. Sci. Eng. C* 2024, 150, 114095.

[18] Zeugolis, D. I.; Khew, S. T.; Yew, E. S. Y.; Ekaputra, A. K.; Wason, M. M.; Mo, X. M.; Hutmacher, D. W.; Lim, J. Y. C. A review of electrospun collagen fibers for tissue engineering. *Biomaterials* 2010, 31 (9), 2132–2143.

[19] Poursamar, S. A.; Tavoosidana, G.; Fathi, S. Collagen-based electrospun nanofibers for wound dressing applications: a review. *J. Mater. Sci. Mater. Med.* 2020, 31 (5), 45.

[20] Kuipers, A. J.; van Wachem, P. B.; van Luyn, M. J. A.; Hendriks, E. J.; van Kuppevelt, T. H.; Poot, A. A.; Feijen, J. Preparation and characterization of crosslinked gelatin hydrogels for use as a tissue engineering scaffold. *Biomaterials* 2000, 21 (7), 697–701.

[21] Da Silva, M. C.; Zaghe, M. A.; Simões, D. R. S.; Pires, R. A. Gelatin-Based Electrospun Nanofibers for Biomedical Applications. *Polymers* 2020, 12 (5), 1184.

[22] Jaiswal, M.; Gupta, S.; Rhee, K. Y.; Dubey, M. K. A Review of Chitosan and Chitosan Nanofiber: Preparation, Characterization, and Its Potential Applications. *Polymers* 2021, 13 (24), 4410.

[23] Vepari, C.; Kaplan, D. L. Silk as a biomaterial. *Prog. Polym. Sci.* 2007, 32 (8), 991–1007.

[24] Dersch, R.; Born, K.; Becker, T.; Schossig, M.; Schumacher, M.; Flesch, C.; Hirth, T.; P. Hirth, T. Electrospun Fibrinogen Nanofibers as a Scaffold for Tissue Engineering and Drug Delivery. *Int. J. Mol. Sci.* 2014, 15 (10), 17351–17377.

[25] Huner, K.; Sarac, B.; Yüce, E.; Rezvan, A.; Micusik, M.; Omastova, M.; Eckert, J.; Sarac, A. S. Iron oxide – poly(m-anthranilic acid)–poly(ϵ -caprolactone) electrospun composite nanofibers: fabrication and properties. *Mol. Syst. Des. Eng.* 2023, 8, 394–406. DOI: 10.1039/D2ME00181K.

[26] Gergin, I.; Ismar, E.; Sarac, A. S. Oxidative stabilization of polyacrylonitrile nanofibers and carbon nanofibers containing graphene oxide (GO): a spectroscopic and electrochemical study. *Beilstein J. Nanotechnol.* 2017, 8, 1616–1628. DOI: 10.3762/bjnano.8.161.

[27] Stramarkou, M.; Tzegiannakis, I.; Christoforidi, E.; Krokida, M. Use of Electrospinning for Sustainable Production of Nanofibers: A Comparative Assessment of Smart Textiles-Related Applications. *Polymers* 2024, 16 (4), 514. DOI: 10.3390/polym16040514.

[28] Saraç, A. S.; Gençtürk, A.; Özel, A. D. New Drug Delivery System. *European Patent EP2810645 (B1)*, May 24, 2017.

[29] Esentürk, İ.; Balkan, T.; Özhan, G.; Döşler, S.; Güngör, S.; Erdal, M. S.; Sarac, A. S. Voriconazole incorporated nanofiber formulations for topical application: preparation, characterization and antifungal activity studies against *Candida* species. *Pharm. Dev. Technol.* 2020, 25 (4), 440–453. DOI: 10.1080/10837450.2019.1706563.

[30] Esenturk, I.; Gumrukcu, S.; Özdabak Sert, A. B.; Kök, F. N.; Döşler, S.; Gungor, S.; Erdal, M. S.; Sarac, A. S. Silk-fibroin-containing nanofibers for topical sertaconazole delivery: preparation, characterization, and antifungal activity. *Int. J. Polym. Mater. Polym. Biomater.* 2020, 70 (9), 605–622. DOI: 10.1080/00914037.2020.1740992X.

[31] Duan, X.; Chen, H.; Guo, C. Polymeric Nanofibers for Drug Delivery Applications: A Recent Review. *J. Mater. Sci.: Mater. Med.* 2022, 33, 78. DOI: 10.1007/s10856-022-06700-4.

[32] Chinatankul, N.; Limmatvapirat, C.; Limmatvapirat, S. Electrospun nanofibers from natural polymers and their application. *Sci. Eng. Health Stud.* 2021, 15, 21010005.

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.

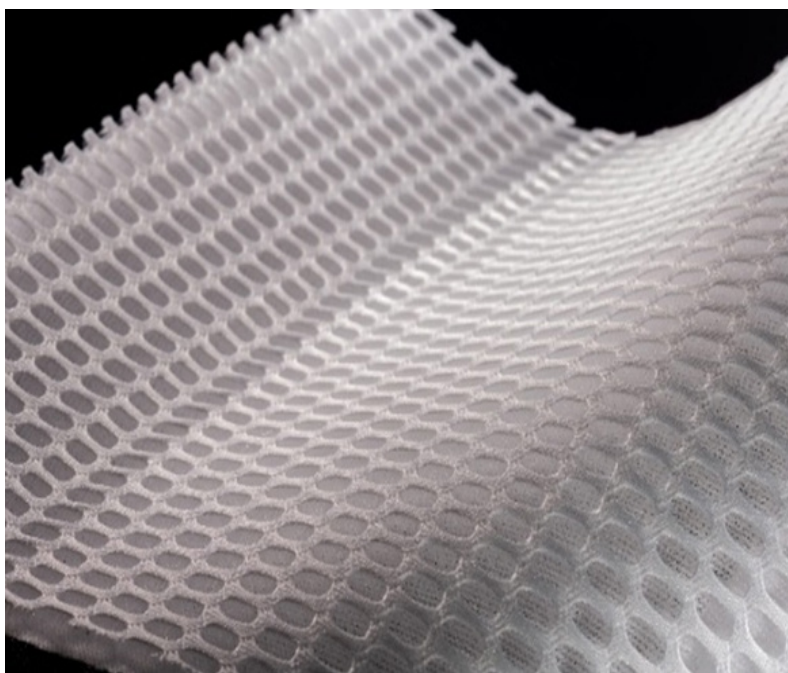
Триизмерният текстил представлява пространствена структура, съставена от три основни слоя:

- 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

КОНЦЕПТУАЛНА РАМКА ЗА AI-АСИСТИРАНО ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧНО ПОДПОМАГАНЕ В ШЕВНОТО ПРОИЗВОДСТВО КАТО ЧАСТ ОТ ПРОЕКТА SMART-SEW

Фатме Ифраим Юмер

Енергомашиностроителен факултет, Катедра ТХТ,
Технически университет – София, България

Резюме

Бързото развитие на изкуствения интелект създава нови възможности за усъвършенстване на инженерно-технологичната подготовка в шевното производство. Докато съвременните изследвания са съсредоточени предимно върху автоматизацията, компютърното зрение и контрола на качеството, приложението на генеративни и асистирани AI инструменти в подготовката на шевното производство остава сравнително слабо проучено.

Настоящата статия разглежда потенциала на AI като подпомагащ инструмент в дейността на инженер-технолога и предлага концептуална рамка за неговото приложение в инженерно-технологичната подготовка. Анализът е основан на критичен преглед на актуалната научна литература, свързана с Industry 4.0, Industry 5.0, изкуствения интелект и цифровата трансформация на текстилната индустрия, както и на инженерно-технологичен анализ на основните дейности при подготовката на шевното производство.

В резултат е предложена авторска концептуална рамка, при която изкуственият интелект подпомага обработването на техническа информация, структуриране на документация и формулиране на инженерни решения, като водещата роля и крайната отговорност остават при инженер-технолога. Рамката е съобразена с човеко-ориентираните принципи на Industry 5.0 и може да служи като основа за бъдещи експериментални изследвания и практическо внедряване в предприятията от шевната индустрия.

Ключови думи: изкуствен интелект, инженерно-технологична подготовка, шевно производство, Industry 5.0, цифровизация, инженер-технолог, текстилна индустрия, SMART-SEW.

CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR AI-ASSISTED ENGINEERING AND TECHNOLOGICAL SUPPORT IN GARMENT MANUFACTURING AS PART OF THE SMART-SEW PROJECT

Fatme Ifraim Yumer

Technical University of Sofia, Faculty of Power Engineering and Power Machines,
Department of Heating and Refrigeration Engineering, Sofia, Bulgaria
fkosssin@abv.bg

Abstract:

The rapid development of artificial intelligence creates new opportunities for improving engineering and technological preparation in garment manufacturing. While contemporary research is mainly focused on automation, computer vision, and quality control, the application of generative and assistive AI tools in garment production preparation remains relatively underexplored.

This paper examines the potential of AI as a support tool in the work of the production engineer and proposes a conceptual framework for its application in engineering and technological preparation. The analysis is based on a critical review of the current scientific literature related to Industry 4.0, Industry 5.0, artificial intelligence, and the digital transformation of the textile industry, as well as on an engineering and technological analysis of the main activities involved in garment production preparation.

As a result, an original conceptual framework is proposed in which artificial intelligence supports the processing of technical information, the structuring of documentation, and the formulation of engineering decisions, while the leading role and final responsibility remain with the production engineer. The framework is aligned with the human-centric principles of Industry 5.0 and may serve as a basis for future experimental research and practical implementation in garment manufacturing enterprises.

Keywords: artificial intelligence, engineering and technological preparation, garment manufacturing, Industry 5.0, digitalization, production engineer, textile industry, SMART-SEW.

1. Въведение

През последните десетилетия шевната индустрия се развива в условията на ускорена цифрова трансформация, в която автоматизацията, интелигентните системи и изкуственият интелект се превръщат във все по-важни фактори за производителност, качество и гъвкавост. Съвременните прегледни изследвания показват, че приложенията на AI в текстилното и шевното производство са концентрирани основно в контрола на качеството, разпознаването на дефекти, планирането и оптимизацията на производствени процеси, докато инженерно-технологичната подготовка остава сравнително слабо изследвана област [1-3].

В същото време концепцията Industry 5.0 поставя човека в центъра на цифровата трансформация и разглежда интелигентните технологии като средство за разширяване на човешките възможности, а не като заместител на експертната преценка. Това е особено важно за шевното производство, където изборът на технологични режими, оценката на материалите и адаптирането към конкретното изделие продължават да изискват високо ниво на инженерна компетентност [4,5].

Инженерно-технологичната подготовка в шевното производство представлява един от най-важните етапи в създаването на стабилен, ефективен и качествен производствен процес. Тя обхваща анализа на изделието, оценката на материалите, подбора на технологична последователност, определянето на параметрите на обработване и подготовката на необходимата документация. При производство на малки серии и честа смяна на моделите този етап се превръща в силно информационно-интензивна дейност, която изисква бърза обработка на данни, професионална преценка и натрупан практически опит [6-8].

Ускореното навлизане на изкуствения интелект в индустрията създава нови възможности за подпомагане именно на тази подготовка. Докато съвременните изследвания в областта на текстила и облеклото са насочени предимно към автоматизиран контрол, прогнозиране на свойства и машинно зрение, по-слабо разработен остава въпросът за използването на AI като интелигентен помощник при инженерно-технологичната подготовка и структуриране

на технологична информация. Това поражда необходимост от концептуален модел, който да опише ролята на AI не като автономен заместител, а като подпомагащ инструмент в работата на инженер-технолога [4,5,9].

Настоящото изследване се вписва в тази научна и приложна рамка и е част от проекта SMART-SEW, насочен към проучване на влиянието на индустриални шевни машини с вграден изкуствен интелект върху качеството и стабилността на шевния процес. В този контекст задачата на статията е да предложи теоретична и методична основа за AI-асистирано инженерно-технологично подпомагане в шевното производство, като се акцентира върху човеко-центрирания подход, характерен за Industry 5.0.

Литературният анализ показва, че изкуственият интелект вече има доказан потенциал в различни сегменти на текстилната индустрия, включително откриване на дефекти, анализ на материали и оптимизация на производствени процеси. Въпреки това липсват достатъчно обобщени модели, които да свържат AI инструментите с инженерно-технологичната подготовка като самостоятелен и критично важен етап от шевното производство. Именно тази празнина определя актуалността и новостта на настоящия текст.

2. Литературен обзор

През последните години цифровата трансформация на текстилната и шевната индустрия се ускорява под въздействието на автоматизацията, киберфизичните системи и интелигентните производствени решения. Концепцията Industry 4.0 наложи широко използване на свързаност, данни и алгоритмична оптимизация, а Industry 5.0 допълни този подход с ясно изразен ориентиран към човека акцент, при който технологиите подпомагат, но не изместват експертната роля на специалиста. В този контекст изкуственият интелект вече не се разглежда единствено като средство за автоматизация, а и като инструмент за интелигентно подпомагане на анализ, планиране и вземане на инженерни решения [1-3].

Съществуващите научни публикации показват, че приложенията на изкуствения интелект в текстилния сектор са съсредоточени главно върху разпознаване на дефекти, прогнозиране на свойства на материалите, оптимизация на

производствени параметри и автоматизиран контрол на качеството. Прегледните изследвания в областта на шевното производство също подчертават, че AI-технологиите се използват най-често в планирането, управлението на процеси и инспекцията на готовата продукция, докато етапите на инженерно-технологична подготовка остават по-слабо обхванати. Това показва, че научният интерес е насочен предимно към производственото изпълнение, а не към предварителната техническа организация на процеса [3].

Особено значим е потенциалът на AI за анализ на текстилни материали и техните технологични характеристики. Съвременни прегледни разработки показват, че алгоритмите могат да подпомагат оценката на тъкани и трикотажни структури, включително чрез прогнозиране на поведение, свързано с комфорт, устойчивост и производствени характеристики. За шевното производство това е важно, тъй като стабилността на шева и качеството на съединението зависят пряко от свойствата на материала, неговата деформация и реакцията му към технологично натоварване [2,3].

Въпреки постигнатия напредък, литературният анализ показва ясно изразена празнина в изследванията, свързани с използването на AI като подпомагащ инструмент в инженерно-технологичната подготовка на шевното производство. Липсват достатъчно систематизирани модели, които да описват как интелигентните системи могат да подпомагат анализа на технически задания, разработването на технологична документация и структурираното вземане на решения от страна на инженер-технолога. Именно тази празнина обуславя необходимостта от нова концептуална рамка, която да интегрира AI в подготвителните етапи на производството, без да се нарушава водещата роля на специалиста.

От гледна точка на съвременната индустриална практика, най-перспективен се очертава подходът, при който изкуственият интелект се използва като асистираща система, а не като автономен заместител на човешката експертиза. Това е особено актуално за шевната индустрия, където инженерно-технологичната подготовка изисква съчетаване на технологични знания, материалознание, производствен опит и оценка на конкретни условия. Следователно

литературата подкрепя необходимостта от модел, който да интегрира AI в тази дейност по начин, съвместим с принципите на Industry 5.0 и с реалните нужди на шевното производство.

3. Анализ на инженерно-технологичната подготовка и концептуален модел за AI-асистирано подпомагане

3.1. Инженерно-технологичната подготовка като информационно-интензивен процес

Инженерно-технологичната подготовка представлява ключов етап от жизнения цикъл на шевното изделие, който осигурява връзката между конструкторската разработка и серийното производство. Нейната основна цел е да се гарантира технологичната проходимост на изделието, оптималното използване на наличните производствени ресурси и постигането на стабилно качество при рационални разходи. В условията на съвременно производство този етап се характеризира с висока информационна натовареност, тъй като изисква едновременно обработване на технологична, материална и организационна информация [12].

В практиката инженерно-технологичната подготовка обхваща комплекс от взаимосвързани дейности, включително анализ на конструкцията на изделието, оценка на свойствата на използваните материали, избор на технологична последователност, определяне на работни параметри, подбор на оборудване и разработване на технологична документация. При честа смяна на моделите, кратки серии и високи изисквания към качеството тази дейност се превръща в непрекъснат процес на интерпретация и систематизиране на данни. Поради това тя може да бъде определена не само като технологична, но и като силно информационно-интензивна инженерна функция [5,6].

Именно този характер на процеса създава подходяща основа за използване на генеративен изкуствен интелект като подпомагащ инструмент [9-11]. AI системите могат да ускорят обработването на информация, да структурират данни и да подпомогнат подготовката на първоначални решения, без да отменят експертната преценка на инженер-технолога. По този начин се открива възможност за по-ефективна организация на подготовката при запазване на професионалния контрол върху

крайния резултат [6-8].

3.2. Анализ на дейностите при инженерно-технологичната подготовка

Функционалният анализ на инженерно-технологичната подготовка показва, че отделните дейности имат различна степен на пригодност за AI-асистирано подпомагане. Най-висок потенциал се наблюдава при задачи, свързани с обработване на големи масиви информация, структуриране на технически данни и разработване на първоначални варианти на документи. Такива дейности са подходящи за подпомагане чрез генеративен AI, защото се основават на логическа организация, текстова обработка и систематизиране на инженерни изисквания.

По-ограничено е приложението на AI при задачи, които изискват оценка на производствени рискове, избор на окончателни технологични

параметри и утвърждаване на технологични решения. В тези случаи водеща остава ролята на инженерно-технологичния опит, познаването на конкретната производствена среда и преценката за реалните последици от избора. Следователно генеративният AI може да подпомага анализа, но не и да замества експертното решение.

Получените изводи показват, че най-ефективният модел е сътрудничеството между човека и интелигентната система, а не пълната автоматизация на инженерната подготовка. Това е особено важно за шевното производство, където техническите решения често зависят от специфичните свойства на материала, особеностите на изделието и изискванията на конкретната серия. Така AI се очертава като инструмент за разширяване на инженерната способност, а не като самостоятелен вземащ решения субект.



Фигура 1. Класификация на инженерно-технологичните дейности според потенциала за AI-асистирано подпомагане

3.3. Класификация на инженерно-технологичните дейности според потенциала за AI-подпомагане

Въз основа на извършения анализ инженерно-технологичните дейности могат да бъдат групирани в три основни категории според възможността им за AI-асистирано подпомагане. Първата група включва дейности с висок потенциал за подпомагане, при които преобладава текстова, структурна или аналитична обработка на информация. Към тях се отнасят подготовката на първоначални технологични документи, анализът на технически спецификации, систематизирането на изисквания и разработването на работни инструкции.

Втората група обхваща дейности със среден потенциал за подпомагане, при които AI може да предложи варианти, но окончателното решение

следва да бъде взето след експертна оценка. Това са задачи като избор на технологична последователност, сравняване на алтернативни производствени решения и предварителна преценка на технологични варианти. При тях изкуственият интелект играе ролята на консултативен и аналитичен помощник.

Третата група включва дейности, които трябва да останат изцяло под контрола на инженер-технолога. Такива са определянето на окончателни технологични параметри, оценката на производствения риск, внедряването на технологични решения и поемането на професионална отговорност за резултата. Предложената класификация ясно показва, че приложението на AI трябва да бъде селективно, а не универсално, и да се основава на характера на самата инженерна задача.

Таблица 1. Класификация на инженерно-технологичните дейности според потенциала за AI-асистирано подпомагане

Таблица 1. Класификация на инженерно-технологичните дейности според потенциала за AI-подпомагане			
Категория на дейностите	Примери	Потенциал за AI-подпомагане	Характеристика
Информационно-аналитични дейности	- Систематизиране на данни - Сравнение на варианти - Търсене на техническа информация	 (висок)	Рутинни, структурирани, подходящи за GenAI
Планиране и оптимизация	- Планиране на материали - Оценка на време и ресурси - Оптимизация на параметри	 (среден)	Изискват анализ и експертна преценка
Критични инженерни решения	- Творчески дизайн решения - Сложни технологични случаи - Финална отговорност	 (нисък)	Необходима е експертна оценка от инженер-технолог
 Забележка: Класификацията е ориентировочна и може да варира в зависимост от спецификата на предприятието и използваните технологии.			

4. Приложение на генеративния изкуствен интелект при инженерно-технологичната подготовка на шевното производство

4.1. Генеративният изкуствен интелект като интелигентен инженерен асистент

Развитието на генеративния изкуствен интелект открива нов етап в цифровизацията на инженерните дейности. За разлика от традиционните системи, базирани на предварително зададени правила и фиксирани алгоритми, генеративните модели могат да създават ново съдържание, да обобщават техническа информация и да подпомагат процеса на инженерно мислене. Това ги прави особено подходящи за задачи, при които се изисква бърза обработка на информация и създаване на структурирани варианти за работа [9,10].

В контекста на шевното производство генеративният AI не следва да се възприема като средство за автоматично вземане на технологични решения, а като интелигентен асистент, който подпомага инженер-технолога в подготовката на документация, анализа на данни и формулирането на алтернативи. Този подход е в съзвучие с принципите на Industry 5.0, при които технологиите трябва да подкрепят човешката експертиза, а не да я подменят. По този начин се създава баланс между цифрова ефективност и професионална отговорност [3,10].

За предприятията от шевната индустрия това означава възможност за съкращаване на времето за подготовка, по-добра организация на информацията и по-висока последователност в разработването на технологична документация. Същевременно се запазва необходимият експертен контрол върху окончателните технологични решения. Така AI се превръща в инструмент за усилване на инженерния капацитет, а не в автономен заместител на специалиста.

4.2. Потенциални области на приложение

Анализът на инженерно-технологичната подготовка показва, че генеративният AI може да бъде интегриран в няколко ключови направления. На първо място, той може да подпомага анализа на технически задания и клиентски спецификации чрез извличане и структуриране на съществената

информация. Това намалява риска от пропускане на важни изисквания и улеснява последващата подготовка на технологичната документация.

Втората област включва разработването на първоначални варианти на технологични инструкции, маршрутни карти и работни описания. Генеративният AI може да предложи структурирани текстове и логически подредени варианти, които впоследствие се преглеждат, редактират и утвърждават от инженер-технолога. Така се ускорява подготвителният процес, без да се компрометира професионалната достоверност на документацията.

Третото направление е подпомагането при сравняване на алтернативни технологични решения. Чрез обработване на големи обеми данни системата може да представя различни варианти за действие, като изборът остава в компетентността на инженера. Особено перспективно е използването на генеративен AI и при обучението на новоназначени специалисти, тъй като той може да подпомага създаването на инструкции, примери и обобщения на добри практики.

4.3. Ограничения и предизвикателства

Въпреки значителния потенциал на генеративния изкуствен интелект, неговото приложение в инженерно-технологичната подготовка е свързано и с редица ограничения [10,11]. Едно от основните предизвикателства е възможността системата да генерира неточна, непълна или информация без необходимия контекст за вземане на обосновани решения [11]. Поради тази причина всяко AI-генерирано предложение трябва да бъде подложено на задължителна експертна проверка преди практическо използване.

Друго съществено ограничение е липсата на специфичен производствен контекст. Генеративните модели не разполагат със знание за конкретното оборудване, организационната структура, натрупания опит и локалните технологични ограничения на предприятието. Именно затова тяхната роля трябва да остане подпомагача, а не определяща. В шевното производство, където множество решения зависят от фините особености на изделието и материала, това ограничение е особено важно.

Таблица 2. Потенциал за приложение на генеративен AI в различни области на инженерната подготовка

Таблица 2. Потенциал за приложение на генеративен AI в различни области на инженерната подготовка		
Област на приложение	Примери за дейности	Потенциал за GenAI
 Технологична документация	Разработване на маршрутни карти, работни инструкции, спецификации	★★★★☆
 Техническа информация	Търсене, обобщаване, структуриране на технически данни	★★★★☆
 Материали и оборудване	Сравнение на материали, препоръки за оборудване	★★★☆☆
 Качествен контрол	Анализ на дефекти, препоръки за коригиращи действия	★★★☆☆
 Обучение и база знания	Създаване на учебни материали, FAQ, база знания	★★★★☆
 Забележка: Потенциалът е оценен по петстепенна скала: ★★★★☆ (висок) ★★★☆☆ (среден) ★★☆☆☆ (нисък)		

Следва да се отчетат и въпросите, свързани с конфиденциалността на данните, защитата на фирмената информация [13] и спазването на действащите нормативни изисквания при използване на AI системи. Тези фактори не намаляват значението на технологията, а по-скоро очертават рамката за нейното отговорно и безопасно приложение. Следователно успешното внедряване на генеративен AI изисква ясни правила, методически контрол и висока инженерна дисциплина.

4.4. Авторска концепция за взаимодействие между инженер-технолога и генеративния AI

Въз основа на извършения анализ се предлага модел на взаимодействие, при който генеративният изкуствен интелект изпълнява ролята на интелигентен помощник, а инженер-технологът запазва водещата роля при анализа, оценката и окончателното вземане на решения.

Този модел се основава на принципа „AI подпомага — инженерът решава“, който ясно разграничава консултативната функция на системата от експертната отговорност на специалиста. Така се избягва рискът от неконтролирана автоматизация на критични технологични решения.

В рамките на предложената концепция AI поема задачите, свързани с обработване на информация, структуриране на данни, формулиране на варианти и подготовка на документация. Инженерът от своя страна оценява приложимостта на генерираните предложения, адаптира ги към реалните условия на производството и утвърждава крайните параметри. Този модел съчетава бързината на цифровите технологии с качеството на експертната преценка.

Предложената концептуална рамка е съвместима с човеко-ориентираната философия на In-

dustry 5.0 и създава предпоставки за ефективна интеграция на AI в инженерно-технологичната подготовка на шевното производство. Освен това тя може да служи като основа за по-нататъшни

експериментални изследвания и за разработване на практически насоки за внедряване в предприятията от отрасъла.



Фигура 2. Модел „AI подпомага - инженерът решава“

5. Концептуална рамка за AI-асистирано подпомагане на инженерно-технологичната подготовка в шевното производство

5.1. Принципи при разработването на концептуалната рамка

Разработването на концептуалната рамка се основава на разбирането, че генеративният изкуствен интелект трябва да подпомага, а не да замества инженерно-техническите специалисти.

В съответствие с принципите на Industry 5.0 [1] интелигентните системи следва да бъдат използвани като средство за повишаване на ефективността на човешкия труд при запазване на водещата роля на инженера в анализа, оценката и окончателното решение. Този принцип е особено важен в шевното производство, където технологичната подготовка е тясно свързана с материалните особености на изделия и производствения контекст.

Таблица 3. Разпределение на функциите между генеративен AI и инженер-технолога

Таблица 3. Разпределение на функциите между генеративния AI и инженер-технолога		
Етап от процеса	Генеративен AI	Инженер-технолог
 Формулиране на задачата	✗	✓ (основна роля)
 Подготовка на входни данни	✓ (подпомага)	✓ (основна роля)
 Генериране на предложения	✓ (основна роля)	✓ (контролира и насочва)
 Експертна оценка и адаптация	✓ (предоставя анализ)	✓ (основна роля)
 Окончателно решение	✗	✓ (единствено)
 Внедряване в производството	✗	✓ (единствено)
 Обратна връзка и подобрение	✓ (анализира данни)	✓ (интерпретира и решава)
 Забележка: AI подпомага с анализ и предложения, но инженерът-технолог остава отговорен за вземането на решения и тяхното прилагане.		

Предложената рамка е разработена въз основа на анализа на инженерно-технологичните дейности, критичния преглед на научната литература и възможностите на съвременните генеративни езикови модели. Основната ѝ цел е да структурира взаимодействието между инженера и AI системата по начин, който осигурява надеждност, проследимост и високо качество на технологичната подготовка. Вместо автоматизиране на човека, моделът цели интелигентно разширяване на неговите възможности.

За разлика от подходи, насочени основно към автоматизация на производството, тук акцентът пада върху подпомагането на инженерното мислене и оптимизирането на информационните

процеси. По този начин концептуалната рамка е ориентирана към практическа приложимост, но едновременно с това съхранява експертния характер на технологичните решения.

5.2. Структура на концептуалната рамка



Фигура 3. Концептуална рамка за AI – асистирано подпомагане на инженерно-технологичната подготовка

Предложеният модел включва пет последователни етапа, които обхващат целия процес на инженерно-технологичната подготовка.

Етап 1. Формулиране на инженерната задача

Процесът започва с ясно определяне на конкретната инженерна задача. На този етап инженер-технологът анализира конструкцията на изделието, изискванията на клиента, характеристиките на материала и производствените ограничения. Качеството на тази начална формулировка определя надеждността на всички последващи AI-генерирани предложения.

Етап 2. Подготовка на входните данни

След дефиниране на задачата инженерът подготвя необходимите входни данни, които могат да включват конструктивна документация, технически спецификации, характеристики на материалите, технологични ограничения,

фирмени стандарти и нормативни изисквания. На този етап генеративният AI не взема решения, а работи със структурирана информация за последваща обработка.

Етап 3. AI-асистирано генериране на предложения

След обработване на входните данни системата подпомага инженера чрез систематизиране на информацията, изготвяне на първоначални варианти на документация, генериране на работни инструкции и формулиране на алтернативни решения. Всички предложения имат консултативен характер и не представляват окончателни инженерни решения.

Етап 4. Експертна оценка и адаптация

Това е ключовият етап в рамката. Инженер-технологът извършва критичен анализ на генерираните варианти, оценява тяхната приложимост спрямо конкретното производство

и при необходимост ги адаптира. Така професионалната отговорност остава изцяло в ръцете на специалиста.

Етап 5. Внедряване и обратна връзка

След окончателното одобрение технологичната документация се внедрява в производството, а практическите резултати и възникналите трудности се използват като обратна връзка. Това позволява натрупване на опит и последващо усъвършенстване на инженерно-технологичната подготовка.

6. Практическо приложение на предложената концептуална рамка

6.1. Възможности за внедряване в предприятията от шевната индустрия

Предложената концептуална рамка има потенциал за прилагане в реални производствени условия, тъй като инженерно-технологичната подготовка в предприятията от шевната индустрия по своята същност следва сравнително сходна логика, независимо от мащаба на производството и вида на изделието. Генеративният изкуствен интелект може да бъде интегриран като допълващ инструмент в работата на инженер-технолога, без да се налага съществена промяна в организационната структура на предприятието. По този начин се създават предпоставки за поетапно и управляемо внедряване на интелигентни технологии, съвместими със съществуващите производствени практики. Особено подходящо е приложението на рамката в предприятия, които работят с малки и средни серии, с честа смяна на модели и с разнообразни текстилни материали. В такива условия инженерно-технологичната подготовка изисква значителен обем аналитична дейност, бърза обработка на данни и последователно структуриране на информацията, което прави AI-подпомагането практически оправдано. Генеративният AI може да намали времето за първоначална подготовка, да подпомогне систематизирането на техническите данни и да улесни стандартизирането на документацията.

Практическото внедряване на подобен модел не означава замяна на инженерната експертиза, а нейно разширяване и подпомагане. Това е особено важно в производствена среда, където технологичните решения трябва да се адаптират

към реални условия, конкретни материали и променливи организационни изисквания. Следователно рамката може да се разглежда като реалистичен инструмент за цифрова трансформация в шевното производство, приложим поетапно и с ясно определени граници на използване.

6.2. Примерен инженерен сценарий

За да се илюстрира практическата приложимост на предложената рамка, може да се разгледа типичен сценарий от шевното производство, свързан с подготовката на нов модел дамска блуза от трикотажен материал. Инженер-технологът разполага с конструктивна документация, основни изисквания на клиента и информация за използвания материал, но трябва в кратък срок да разработи технологична последователност, маршрутна карта и работни инструкции. В традиционния режим тази задача изисква самостоятелно анализиране на входните данни, избор на технологични параметри и проверка на съответствието между изделието и производствените възможности.

При AI-асистирания подход инженерът първо формулира задачата и предоставя на системата структурирана информация за изделието, материала и ограниченията на производството. Генеративният AI може да предложи първоначален вариант на технологична последователност, да систематизира техническите изисквания и да подготви проект на документация, който подлежи на експертна редакция. След това инженер-технологът оценява предложените варианти, адаптира ги към конкретното производство и утвърждава окончателното технологично решение.

Такъв сценарий показва, че изкуственият интелект може да съкрати времето за подготовка, да намали риска от пропуски и да повиши последователността на документацията. В същото време крайното решение остава в ръцете на инженера, което е съществено условие за надеждност и професионална отговорност. Поради това рамката е особено подходяща за обучение, пилотно внедряване и последващо разширяване в предприятията.



Фигура 4. Примерен инженерен сценарий при AI-асистирана подготовка

Таблица 4. Сравнение между традиционния и AI-асистирания подход при инженерно-технологичната подготовка

Таблица 4. Сравнение между традиционния и AI-асистирания подход при инженерно-технологичната подготовка		
Критерий	Традиционен подход	AI-асистиран подход
Анализ на техническата информация	Изцяло ръчен	Подпомаган от GenAI
Разработване на документация	Изцяло ръчна	Генериране на вариант + експертна редакция
Скорост на обработване	Зависи от опита на инженера	По-висока чрез автоматизирано структуриране
Последователност на документацията	Възможни различия	По-висока степен на стандартизация
Крайно инженерно решение	Инженер-технолог	Инженер-технолог
Професионална отговорност	Инженер-технолог	Инженер-технолог
Обратна връзка и подобрения	Ръчен анализ	AI анализ + експертна интерпретация

Забележка: AI-асистираният подход не заменя инженера-технолог, а засилва неговата ефективност чрез автоматизация, структуриране и интелигентна подкрепа.

6.3. Очаквани ползи от внедряването

Прилагането на предложената концептуална рамка може да доведе до няколко съществени ползи за шевните предприятия. На първо място се очаква съкращаване на времето за инженерно-технологична подготовка чрез по-бързо обработване и структуриране на информацията. Това е особено важно при производство с висока динамика, където времето между поръчката и старта на производството е ограничено.

На второ място се очаква подобряване на последователността и унификацията на технологичната документация. Използването на генеративен AI позволява създаване на първоначални текстове и работни варианти, които могат да бъдат стандартизирани и адаптирани към вътрешните изисквания на предприятието. Така се намалява вероятността от пропуски, непълнота и различия между отделните технологични документи.

На трето място, AI-подпомагането може да има положителен ефект върху обучението и адаптацията на новоназначени специалисти. Чрез систематизирани инструкции, примери и обобщени технологични насоки се улеснява въвеждането в работа и се съкращава периодът на натрупване на практически опит. Освен това подобна система може да намали административната натовареност на инженерите и да им позволи да насочат повече усилия към аналитичните и иновативните аспекти на дейността си.

Следва да се подчертае, че тези ползи имат характер на очаквани ефекти, основани на анализа на технологичния процес и възможностите на интелигентните системи. За тяхното количествено доказване са необходими бъдещи експериментални изследвания в реална производствена среда. Въпреки това още на концептуално ниво рамката показва добра приложимост и съответствие с актуалните

тенденции в индустриалната дигитализация.

6.4. Ограничения на настоящото изследване

Настоящото изследване има предимно концептуален характер и не включва експериментално внедряване на рамката в реално предприятие от шевната индустрия. Поради това представените ползи трябва да се разглеждат като научно обосновани очаквания, които подлежат на последваща проверка и валидиране. Това не намалява стойността на предложението, а очертава ясна перспектива за бъдещо развитие.

Допълнително ограничение представлява бързото развитие на самите AI технологии. Генеративните модели се усъвършенстват динамично и това означава, че предложената рамка трябва да се актуализира периодично в съответствие с новите функционалности, изисквания и индустриални практики. С други думи, моделът е гъвкав по природа, но изисква активна професионална поддръжка.

Независимо от тези ограничения, предложената рамка представлява реалистична теоретична основа за бъдещи експериментални изследвания и практическо внедряване. Тя може да бъде използвана като отправна точка за разработване на методики, протоколи и цифрови решения за инженерно-технологична подготовка. Именно в това се състои и нейният научно-приложен потенциал.

7. Заключение

Настоящото изследване разглежда възможностите за приложение на генеративния изкуствен интелект при инженерно-технологичната подготовка в шевното производство в контекста на съвременната цифрова трансформация на текстилната индустрия. Анализът на актуалната научна литература показва, че макар AI вече да намира широко приложение в автоматизирания

контрол на качеството, компютърното зрение и оптимизацията на производствените процеси, неговото използване в подготвителните инженерни дейности остава ограничено и недостатъчно систематизирано. Това потвърждава актуалността на темата и необходимостта от целенасочен изследователски подход.

Инженерно-технологичната подготовка се очертава като силно информационно-интензивен процес, при който инженер-технологът обработва значителен обем данни, разработва технологична документация и взема решения, имащи пряко влияние върху качеството, стабилността и ефективността на производството. Именно тези особености правят процеса подходящ за AI-асистирано подпомагане, особено когато се търси ускоряване на подготовката и по-висока степен на структурираност на информацията. В този смисъл генеративният AI може да бъде разглеждан като инструмент за интелигентно разширяване на инженерния капацитет.

Въз основа на извършения анализ е разработена авторска концептуална рамка за AI-асистирано инженерно-технологично подпомагане в шевното производство. Предложението ясно разграничава ролята на генеративния AI и ролята на инженер-технолога: системата подпомага обработването на информация, създаването на първоначални варианти и структуриране на документация, докато окончателната експертна оценка, адаптацията и професионалната отговорност остават при специалиста. По този начин се избягва опасността от неконтролирана автоматизация и се запазва водещият човешки фактор.

Предложеният модел е съобразен с принципите на Industry 5.0, според които интелигентните технологии трябва да подпомагат човека, а не да го заменят. Това е особено важно за шевното производство, където технологичните решения зависят от особеностите на материала,

конструкцията на изделието и конкретната производствена среда. Концептуалната рамка е приложима като основа за бъдещи експериментални изследвания, както и за разработване на практични методики за внедряване на AI в инженерно-технологичната подготовка.

Разработеният примерен сценарий показва, че използването на генеративен AI може да съкрати времето за подготовка, да подобри последователността на технологичната документация и да подпомогне стандартизирането на инженерните решения. Същевременно беше подчертано, че успешното внедряване изисква експертен контрол, ясно дефинирани правила за употреба и съобразяване с производствените ограничения и изисквания за конфиденциалност. Поради това AI трябва да се разглежда като интелигентен помощник, а не като автономен вземащ решения механизъм.

В заключение може да се обобщи, че предложението концептуална рамка има потенциал да подпомогне модернизацията на инженерно-технологичната подготовка в шевното производство, като съчетава предимствата на генеративния изкуствен интелект с професионалната преценка на инженер-технолога. Тя създава основа за по-нататъшни експериментални изследвания, за разработване на практико-приложни решения и за бъдещо внедряване в предприятията от шевната индустрия. По този начин разработката допринася както към научната дискусия, така и към приложната трансформация на сектора.

В резултат на проведеното изследване могат да бъдат формулирани следните научни приноси:

1. Осъществен е задълбочен критичен анализ на актуалните научни публикации, отнасящи се до приложението на изкуствения интелект в текстилната и шевната индустрия,

в резултат на който е идентифицирана ясно изразена научна празнина, свързана с използването на генеративни AI технологии в инженерно-технологичната подготовка.

2. Предложена е авторска класификация на инженерно-технологичните дейности според степента на тяхната пригодност за AI-асистирано подпомагане, която позволява по-прецизно разграничаване на задачите с висок, среден и нисък потенциал за интелигентна поддръжка.

3. Разработена е оригинална концептуална рамка за интегриране на генеративния изкуствен интелект в процеса на инженерно-технологична подготовка в шевното производство, ориентирана към повишаване на ефективността, последователността и проследимостта на подготвителните дейности.

4. Формулиран е модел на взаимодействие между инженер-технолога и генеративния изкуствен интелект, основан на принципа „AI подпомага — инженерът решава“, който ясно дефинира разграничението между консултативната функция на системата и професионалната отговорност на специалиста.

5. Разработен е примерен инженерен сценарий, илюстриращ практическото приложение на предложената концептуална рамка в конкретна задача от шевното производство и демонстриращ възможностите за нейното внедряване в реална производствена среда.

организация на подготвителните дейности. Тя може да бъде използвана като методическа основа при разработването на цифрови решения, ориентирани към интелигентно подпомагане на инженерната работа в условията на Industry 5.0. Освен това моделът е приложим в обучението на студенти и специалисти по текстилна техника и технологии, както и като база за последващи експериментални изследвания и пилотни внедрявания в реална производствена среда.

маг. инж. Фатме Ифраим Юмер е докторант, Енергомашиностроителен факултет, Катедра ТХТ, Технически университет – София, България.

Практическа значимост

Предложената концептуална рамка има потенциал да подпомогне оптимизирането на инженерно-технологичната подготовка в предприятията от шевната индустрия чрез по-ефективно обработване и структуриране на техническа информация, по-бърза подготовка на технологична документация и по-добра

Библиография

- [1] Breque, M., De Nul, L., Petridis, A. Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021. DOI: 10.2777/308407.
- [2] Gilchrist, A. Industry 4.0: The Industrial Internet of Things. New York: Apress, 2016.
- [3] Russell, S., Norvig, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. Pearson, 2021.
- [4] Davenport, T. H., Ronanki, R. Artificial Intelligence for the Real World. Harvard Business Review. 2018;96(1):108–116.
- [5] European Commission. Ethics Guidelines for Trustworthy AI. High-Level Expert Group on Artificial Intelligence. Brussels, 2019.
- [6] Ingle, N., Jasper, W. J. A Review of the Evolution and Concepts of Deep Learning and AI in the Textile Industry. Textile Research Journal. 2025; 95(13–14):1709–1737. DOI: 10.1177/00405175241310632.
- [7] Mohammadi, S. O., Kalhor, A. Smart Fashion: A Review of Artificial Intelligence Applications in the Fashion and Apparel Industry. arXiv, 2021.
- [8] Rizzi, G., Casciani, D. AI into Fashion Processes: Laying the Groundwork. Fashion Highlight Journal. 2023.
- [9] Ahmed, R., Ahmed, E., Elbarbary, A., Hassanien, A. Fashion Industry in the Age of Generative Artificial Intelligence and Metaverse: A Systematic Review. arXiv, 2025.
- [10] Vyhmeister, E., Castane, G. When Industry Meets Trustworthy AI: A Systematic Review of AI for Industry 5.0. arXiv, 2024.
- [11] Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). Official Journal of the European Union, 2024.
- [12] Groover, M. P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. 5th ed. Pearson, 2020.
- [13] Ghobakhloo, M. Generative Artificial Intelligence in Manufacturing: Opportunities for Actualizing Industry 5.0 Sustainability Goals. 2024; 35(9); 94-121. DOI: 10.1108/JMTM – 12 – 0530.

EDITORIAL BOARD

Assoc. Prof. Ivelin Rahnev, PhD, Editor in Chief Assoc. Prof. Maria Spasova, PhD, IP – BAS, Sofia, technical editor

Prof. Snezhina Andonova, PhD, SWU – Blagoevgrad
Prof. Desislava Grabcheva, PhD, UCTM – Sofia
Prof. Radostina Angelova, DSc, TU – Sofia
Prof. Zlatina Kazlacheva, PhD, FTT – Yambol
Assoc. Prof. Radka Atanasova, PhD, TU – Sofia
Assoc. Prof. Darina Zheleva, PhD, UCTM – Sofia
Assoc. Prof. Iva Dobрева-Dragostinova, PhD, NBU – Sofia
Assoc. Prof. Stela Baltova, PhD, IBS – Botevgrad

Assoc. Prof. Tatyana Hristova-Popovska, PhD, SWU – Blagoevgrad
Assoc. Prof. Borislav Stoyanov, PhD, TU – Gabrovo
Assoc. Prof. Kapka Manasieva, PhD, VFU – Varna
Assist. Prof. Nezabravka Popova-Nedyalkova, PhD, NBU – Sofia
Assist. Prof. Nikolay Bozhilov, PhD, NAA – Sofia
Dr. Rositsa N. Krueger, Fair Trade – Bonn, Germany

FOREIGN SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Jean-Yves Drean, DSc, UHA-ENSISA-LPMT, Mulhouse, France
Prof. Dr. Yordan Kyosev, DSc, TU-Dresden, Germany
Prof. Saber Ben Abdesslem, DSc, ENIM – Monastir, Tunisie
Prof. Hale Hale Karakaş, PhD, TU-Istanbul, Türkiye
Prof. Goran Demboski, PhD, U “Ss. Cyril and Methodius” – Skopje, N Macedonia
Prof. Dragan Dordevic, PhD, University of Niš, Serbia
Assoc. Prof. CHU Dieu Huong, PhD, HUST – Hanoi, Vietnam

INFORMATION FOR AUTHORS

RULES FOR DEPOSITING AND PUBLISHING ARTICLES

Submission of a manuscript should be addressed to the Editorial Office via e-mail (textilejournal.editor@fnts.bg), the paper should be written in Bulgarian from Bulgarian authors and in English (working language) for foreigners.

Copyright Transfer Agreement must be signed and returned to our Editorial Office by mail, fax or e-mail as soon as possible, after the preliminary acceptance of the manuscript. By signing this Agreement, the authors warrant that the entire work is original and unpublished, it is submitted only to this journal and all the text, data, Figures and Tables included in this work are original and unpublished and have not been previously published or submitted elsewhere in any form. Please note that the reviewing process begins as soon as we receive this document. In the case when the paper has already been presented at a conference, it can be published in our magazine only if it has not been published in generally available conference materials; in such case, it is necessary to give an appropriate statement placed in Editorial notes at the end of the article.

General style and layout

Volume of a manuscript submitted should not exceed 12 standard journal pages in single column (3600 characters per page), including tables and figures. Format is MS Office Word (normal layout). The editors reserve the right to shorten the article if necessary as well as to alter the title.

Title of a manuscript should not exceed 120 characters.

Full names and surnames of the authors, as well as **full names of the authors' affiliation** – faculty, department, university, institute, company, town and country should be clearly given. Corresponding author should be indicated, and their e-mail address provided.

Abstract of a manuscript should be in English and no longer than one page.

Key-words should be within 4-6 items.

For papers submitted in English (any other working language), the authors are requested to submit a copy with a title, abstract and key words in Bulgarian.

Figures and illustrations with a title and legend should be numbered consecutively (with Arabic numerals) and must be referred in the text. Figures should be integrated in the text with format **JPG at 300 dpi minimum**, and in editable form.

Tables with a title and optional legend should be numbered consecutively and must be referred in the text.

Acknowledgements may be included and should be placed after Conclusions and before References.

Footnotes should be avoided.

References (bibliography) should be cited consecutively in order of appearance in the text, using numbers in square brackets, according to the Vancouver system.

Acknowledgements may be included and should be placed after Conclusions and before References.

Footnotes should be avoided.

References (bibliography) should be cited consecutively in order of appearance in the text, using numbers in square brackets, according to the Vancouver system.

ТЕКСТИЛ СЪВЕЩАНИЕ

НСТ по текстил,
облекло и кожи



www.tok.fnts.bg

ISSUE 1/2026
Open access: CC BY-NC

CONTENTS

UDC

- 678 ELECTROSPINNING: NANOFIBER PRODUCTION FOR TEXTILE APPLICATIONS
A. Sezai Sarac, Viktor Soprunyuk, Selin Gumrukcu, Baran Sarac, Wilfried Schranz..... 3
<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2026.0001.01>
- 677 APPLICATION OF 3D TEXTILE IN FIREWORKS CLOTHING
Andrei Belchev, Umme Kapanak..... 13
<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2026.0001.02>
- 687 CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR AI-ASSISTED ENGINEERING AND
TECHNOLOGICAL SUPPORT IN GARMENT MANUFACTURING AS PART
OF THE SMART-SEW PROJECT
Fatme Ifraim Yumer..... 19
<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2026.0001.03>

SUBJECT AREA. The papers reflect developments and solutions in textile science and practice. They refer to one of the UDC topics:

- 33, Economics. Economic sciences.
- 377, Special Education. Vocational education. Vocational schools.
- 378, Higher Education. Higher Education Institutions.
- 677, Textile Industry. Technology of textile materials.
- 678, Industry of High Molecular Substances. Rubber industry. Plastic industry.
- 687, Tailoring (apparel) Industry.
- 745/749, Applied Art. Art Crafts. Interior. Design.
- 658.512.23, Artistic design (industrial design).

Address:

Bulgaria, 1000 Sofia, 108 G. S. Rakovski str., room 407, tel. +359 2 980 30 45
e-mail: textilejournal.editor@fnts.bg
www.bgtextilepublisher.org

Bank account:

SEU of Textile, Garment and Leathers
VAT identification number: BG 121111930
Account IBAN: BG43 UNCR 9660 1010 6722 00

ISSN 1310-912X (Print)

ISSN 2603-302X (Online)

COBISS.BG-ID – 74291208

<https://randii.nacid.bg/register/search/1987>

ADOBE InDesign 65244684

<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2026.0001>



Neş'e SARAÇ – RelationShip

PIRIN-TEX