https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912x.2026.0005.04

РОЛЯ НА СТАНДАРТИЗИРАНИТЕ ИЗПИТВАТЕЛНИ МЕТОДИ И АКРЕДИТИРАНАТА ЛАБОРАТОРИЯ ЗА ДОСТОВЕРНОСТТА НА НАУЧНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ В ТЕКСТИЛНОТО МАТЕРИАЛОЗНАНИЕ

Краса Костова[1], Умме Капанък[1], Васил Чобанов[1], Петя Генчева[2]

Резюме:

Текстилното материалознание изучава структурата, свойствата и поведението на текстилните материали в процеса на тяхното производство и експлоатация. Развитието на текстилната индустрия, свързано с внедряването на нови материали, технологии и функционални обработки, изисква надеждни методи за оценка на техните характеристики. Стандартизираните изпитвания са основен инструмент за обективно определяне на качествените показатели на текстилните изделия, а използването на акредитирани лаборатории гарантира достоверност, възпроизводимост и международно признаване на получените резултати. В доклада се разглеждат обхватът на стандартизираните методи за изпитване (механични показатели, износване и пилинг, комфортни и бариерни показатели, цветоустойчивост и спектрални характеристики), изискванията на ISO/IEC 17025 към проследимостта, компетентността и контрола на качеството, както и ролята на изпитванията при верифициране на хипотези, сравнение с референтни образци, статистическа обработка и публикуване на научни резултати. Представени са приложения в технически, защитни, медицински и функционални текстили, както и предизвикателствата пред стандартизацията на интелигентни, нанотехнологични и биоразградими материали.

Ключови думи: *текстилно материалознание; стандартизирани изпитвания; акредитирана лаборатория; ISO/IEC 17025; метрологична проследимост; функционални текстили.*

THE ROLE OF STANDARDIZED TEST METHODS AND ACCREDITED LABORATORIES IN THE RELIABILITY OF SCIENTIFIC RESEARCH IN TEXTILE MATERIALS SCIENCE

Krasa Kostova[1], Umme Kapanak[1], Vasil Chobanov[1], Petya Gencheva[2]
[1]Югозападен университет „Неофит Рилски“, Благоевград
Department of Mechanical Engineering, Technical Faculty, South-West University ‘Neofit Rilski’, Blagoevgrad
[2]Технически колеж – София към Технически университет, София
krasa.kostova@abv.bg

Abstract:

Textile materials science studies the structure, properties and behaviour of textile materials during production and use. The introduction of new materials, technologies and functional finishes requires reliable methods for assessing their characteristics. Standardized tests are the principal tool for the objective determination of the quality indicators of textile products, while the use of accredited laboratories ensures the credibility, reproducibility and international recognition of the results obtained. This paper reviews the scope of standardized test methods (mechanical properties, abrasion and pilling, comfort and barrier properties, colour fastness and spectral characteristics), the ISO/IEC 17025 requirements for traceability, competence and quality control, and the role of standardized testing in hypothesis verification, comparison with reference samples, statistical treatment and publication of scientific results. Applications in technical, protective, medical and functional textiles are outlined, together with the challenges facing the standardization of smart, nano-enhanced and biodegradable materials.

Keywords: *textile materials science; standardized testing; accredited laboratory; ISO/IEC 17025; metrological traceability; functional textiles*

1. Въведение

Текстилните материали намират широко приложение в облеклото, техническия текстил, медицинските изделия, автомобилната индустрия и множество други сфери [1]. Нарастващите изисквания към качеството, безопасността и функционалността на текстилните продукти налагат използването на обективни и възпроизводими методи за тяхното оценяване [2, 3].

Научните изследвания в областта на текстилното материалознание са насочени към разработване на нови влакна, прежди, тъкани, нетъкани текстилни структури и специални функционални покрития, включително наноструктурирани и електропроводими системи [4, 5]. За да бъдат резултатите от тези разработки надеждни и сравними между различни изследователски групи, е необходимо изпитванията да се провеждат по стандартизирани методи в лаборатории, чиято компетентност е формално призната, т.е. акредитирани по ISO/IEC 17025 [6].

Докладът има обзорен характер. Целта му е да обобщи ролята на стандартизираните изпитвания и на акредитираните лаборатории в текстилното материалознание и да покаже как те осигуряват научната достоверност на разработките. Разгледани са: обхватът на стандартизираните методи; значението на акредитацията; функциите на изпитванията в научноизследователския процес; практическите приложения и предизвикателствата пред развитието на стандартизацията.

2. Същност и обхват на стандартизираните изпитвания

Стандартизираните изпитвания са процедури за определяне на физико-механични, химични и експлоатационни характеристики на текстилните материали съгласно утвърдени национални и международни стандарти. В текстилната практика най-често се прилагат стандартите на Международната организация по стандартизация (ISO), европейските стандарти (EN), стандартите на ASTM International (American Society for Testing and Materials) и българските държавни стандарти (БДС); европейските стандарти EN ISO се въвеждат на национално ниво като БДС EN ISO. Освен самата процедура, стандартите регламентират и условията на кондициониране и изпитване: образците се изпитват в равновесие със стандартна атмосфера [7], а за якостните показатели по ISO 13934-1 е предвидено изпитване както на кондиционирани, така и на мокри образци [8].

Чрез стандартизираните методи се определят показатели като якост на опън, удължение при скъсване, устойчивост на износване и на пилинг, въздухопроницаемост, водопоглъщаемост, цветоустойчивост при пране, триене и светлина, устойчивост на химични въздействия, топлинни характеристики и спектрални отражателни коефициенти [2, 3]. Прилагането на стандартизирани процедури позволява резултатите да бъдат сравнявани независимо от мястото на провеждане на изпитването.

2.1. Механични показатели

Якостта на опън и удължението при скъсване на тъканите се определят по метода на лентата съгласно ISO 13934-1, като се измерват максималната сила и удължението при максимална сила на машина с постоянна скорост на удължаване (CRE) [8]. Методът е приложим основно за тъкани, включително такива с еластични влакна, и по правило не е подходящ за геотекстили, нетъкани материали, материали с покритие и тъкани от стъклени или въглеродни влакна [8]. Здравината на шевовете се оценява чрез максималната сила до разрушаване на шева по метода на лентата (ISO 13935-1) [9], а съпротивлението на раздиране – по метода „панталон“ (единично раздиране) и по метода „езиче“ (двойно раздиране) съгласно ISO 13937-2 и ISO 13937-4 [10]. Зависимостта напрежение–деформация до разрушаване (Фиг. 1) характеризира механичното поведение на материала и определя границите на безопасната му експлоатация [2, 11].



***Фигура 1**. Устойчивост на опън и раздиране: типична крива напрежение–деформация до точка на разрушаване и приложими стандарти (БДС EN ISO 13934-1, 13935-1, 13937-2 и -4).*

2.2. Износване и пилинг

Устойчивостта на износване се определя на апаратура на Martindale по серията ISO 12947, която обхваща апаратурата (част 1), определянето на разрушаването на образеца (част 2), загубата на маса (част 3) и оценката на промяната във външния вид (част 4) [12]. Склонността към образуване на пилинг, развласяване и матиране се оценява по модифицирания метод на Martindale съгласно ISO 12945-2 [13]. Пилингът зависи от



***Фигура 2.** Апаратура на Martindale и приложими стандарти за износване и пилинг (БДС EN ISO 12945-2 и БДС EN ISO 12947, части 1–4).*

свойствата на влакната, структурата на преждата и платовете и от условията на експлоатация [14], а оценката му остава предимно субективна [15]. Количественото измерване на износването превръща този процес от случайно наблюдение в предвидим и сравним показател (Фиг. 2).

2.3. Комфортни и бариерни показатели

Въздухопроницаемостта на текстилните платове се определя по ISO 9237 [16], а топлинното и водопаропропускливото съпротивление в стационарни условия – по метода на нагрявана плоча с изпотяване (sweating guarded-hotplate) съгласно ISO 11092 [17]. Методите за определяне на пропускливостта, комфортните и химичните показатели са систематизирани в [3].

2.4. Цветоустойчивост

Цветоустойчивостта се оценява по серията ISO 105: при пране (ISO 105-C06), при триене (ISO 105-X12) и при въздействие на изкуствена светлина от ксенонова лампа (ISO 105-B02) [18]. Тези показатели са от особено значение за изделия, при които цветът има функционално значение, например маскировъчните текстили (т. 2.5 и т. 5).

2.5. Спектрални характеристики

Спектралната отражателна способност и пропускливост на текстилните повърхности се измерват спектрофотометрично, а цветовите координати и цветовите разлики се изчисляват по системата на CIE [19]. В ултравиолетовия диапазон измереното спектрално пропускане служи за определяне на фактора на UV защита (UPF) на платовете за облекло по EN 13758-1 [20]. В проучване на 236 плата за облекла от колекциите пролет/лято 2000 и 2001 г. Gambichler и съавт. установяват, че 33 % от платовете са с UPF < 15, а само 48 % – с UPF ≥ 30 [21], което подчертава необходимостта от стандартизирано изпитване и маркиране. Факторите, влияещи върху UV защитата (порестост, вид, цвят, маса и дебелина на плата, както и разтягане, овлажняване и пране), са обобщени от Hoffmann и съавт. [22]. В близката инфрачервена (NIR) област спектралната отражателна способност определя как облеклото се възприема през уреди за нощно виждане и е ключов показател за маскировъчните текстили [1, 23] (Фиг. 3).



Фигура 3. *Спектрален анализ в ултравиолетовата (UV), видимата (VIS) и близката инфрачервена (NIR) област и ключови приложения: отражателна способност, защитни свойства и оптична маскировка.*

3. Значение на акредитираните лаборатории

Акредитацията е официално признание на техническата компетентност на лабораторията да извършва определени изпитвания. В Европейския съюз изискванията към акредитацията са установени с Регламент (ЕО) № 765/2008 [24], а най-разпространеният стандарт за компетентност на лабораториите за изпитване и калибриране е ISO/IEC 17025 [6]. Акредитираната лаборатория осигурява проследимост на измерванията, възпроизводимост на резултатите, компетентност на персонала и контрол на качеството (Фиг. 4).



Фигура 4. *Обработка на данните от измерване в акредитирана лаборатория – от суровите данни до резултат с метрологична проследимост*

3.1. Проследимост на измерванията. Измервателните средства се калибрират спрямо национални и международни еталони чрез документирана непрекъсната верига от калибрирания, всяко от които допринася за неопределеността на измерването; изискванията към тази метрологична проследимост са формулирани в политиката на ILAC [25]. Резултат, за който липсва документирана проследимост, не може да бъде надеждно сравняван с резултати от други лаборатории.

3.2. Възпроизводимост на резултатите. Прилагането на стандартизирани процедури позволява повторяемост на измерванията както в рамките на една лаборатория, така и между различни лаборатории; двете характеристики на прецизността – повторяемост и възпроизводимост – се определят по ISO 5725-2 [26]. Обективна външна оценка на работата на лабораторията се получава чрез изпитвания за пригодност (междулабораторни сравнения), организирани съгласно ISO/IEC 17043 [27] и оценявани със статистическите методи по ISO 13528 [28]; участието в такива програми е един от механизмите за мониторинг на валидността на резултатите по ISO/IEC 17025 [6].

3.3. Компетентност на персонала. Изпитванията се извършват от квалифицирани специалисти с необходимите знания и практически умения, чиято компетентност се оценява и документира [6].

3.4. Контрол на качеството. Акредитираните

лаборатории поддържат система за управление на качеството, която гарантира надеждност на процесите и резултатите: валидиране на методите, вътрешен контрол и оценка на неопределеността на измерването по общоприетите ръководства [29, 30]. Обработката на суровите данни включва определяне на средни стойности, оценка на отклоненията, анализ на вариацията и дефиниране на доверителни интервали (Фиг. 4) [3].

4. Роля на стандартизираните изпитвания при научните разработки

Научноизследователската дейност в текстилното материалознание изисква обективно доказване на предимствата на новосъздадени материали и технологии. Стандартизираните изпитвания изпълняват няколко основни функции.

4.1. Верифициране на научните хипотези. Чрез лабораторни изпитвания се проверява дали разработеният материал действително притежава предварително зададените свойства. Например при антибактериални текстили ефективността на функционалната обработка се оценява количествено по ISO 20743, който включва методи на абсорбция, трансфер и печат, както и определяне на броя бактерии чрез посевен метод или чрез АТФ-луминесценция [31]. Антимикробните агенти (кватернерни амониеви съединения, триклозан, метални соли, полибигуаниди, природни полимери) и подходите за тяхното въвеждане в текстила са обобщени в [32, 33].

4.2. Сравнение с референтни образци. Получените резултати позволяват сравняване на новите материали със съществуващите на пазара продукти и с контролни (необработени) образци, изпитани при идентични условия [2, 3]. Така ефектът от новата обработка може да бъде отделен от влиянието на текстилната основа.

4.3. Статистическа достоверност. Стандартизираните методики определят условията на изпитване и броя на образците, което дава възможност за статистическа обработка на данните и оценка на тяхната достоверност – средни стойности, вариация, доверителни интервали [3, 26].

4.4. Публикуване на научни резултати. Като правило научните списания и конференции очакват резултатите да са получени чрез признати международни методи за изпитване. Данните от акредитирани лаборатории значително повишават научната стойност на публикациите, тъй като позволяват независима проверка и възпроизвеждане на изследването.

5. Практически приложения в текстилното материалознание

Стандартизираните изпитвания намират приложение при разработването на високоякостни технически текстили, интелигентни текстилни материали, защитно облекло, медицински текстил, екологични и биоразградими влакна, нанотехнологични текстилни покрития и функционални текстили с антибактериални и UV-защитни свойства. Връзката между тези направления, изпитваните показатели и приложимите методи е обобщена в Табл. 1.

Таблица 1. Приложения на стандартизираните изпитвания в текстилното материалознание

Област на приложение	Основни изпитвани показатели	Методи и източници
Високоякостни технически текстили	Якост на опън и удължение, здравина на шевове, съпротивление на раздиране, износване	ISO 13934-1, ISO 13935-1, ISO 13937-2/-4, ISO 12947 [8–10, 12]
Интелигентни текстили	Механична и експлоатационна устойчивост на текстилната основа (износване, цветоустойчивост); електрически и сензорни характеристики	ISO 12947, ISO 105; за електрическите характеристики – специализирани методики [5, 12, 18]
Защитно облекло	Механична якост, износване, UV защита, топлинно и водопаропропускливо съпротивление	ISO 13934-1, ISO 12947, EN 13758-1, ISO 11092 [8, 12, 17, 20]
Медицински текстил	Антибактериална активност, якост, комфортни показатели	ISO 20743, ISO 13934-1, ISO 9237 [8, 16, 31]
Екологични и биоразградими влакна	Аеробна биоразградимост при компостиране	ISO 14855-1, ISO 21701 [34, 35]
Нанотехнологични покрития	Ефективност и трайност на обработката след пране и износване, безопасност за здравето и околната среда	ISO 105-C06, ISO 12947, ISO 20743 (антимикробни покрития) [4, 36, 37]
Антибактериални и UV-защитни функционални текстили	Антибактериална активност; фактор на UV защита (UPF)	ISO 20743, EN 13758-1 [20, 21, 31]
Маскировъчни (военни) текстили	Спектрална отражателна способност във VIS и NIR, цветова разлика, стабилност след износване и пране	Спектрофотометрия, CIE 15; ISO 12947, ISO 105-C06 [19, 23, 38, 39]

При интелигентните текстили електронните компоненти и връзки са интегрирани във влакната, преждите или самия плат [5]. Наред със специфичните електрически и сензорни характеристики, които изискват специализирани методики, текстилната основа трябва да отговаря на общите механични и експлоатационни изисквания, разгледани в т. 2.

Нанотехнологиите позволяват придаване на устойчивост на вода, мирис, пламък и петна, на UV защита и антимикробни свойства, както и създаване на сензорни и енергийни функции в текстила [4, 36, 37]. Доказването на трайността на тези обработки налага изпитвания след стандартизирани въздействия, като пране и износване (т. 2.2 и 2.4).

Оценката на екологичните и биоразградими влакна изисква специфични методи, например ISO 14855-1 за аеробна биоразградимост при контролирани условия на компостиране чрез анализ на отделения въглероден диоксид [34] и ISO 21701 за ускорена хидролиза на текстилни материали и последваща биоразградимост на хидролизата [35].

Маскировъчните текстили илюстрират необходимостта от комплексен подход. Rubežienė и съавт. измерват спектралната отражателна способност на печатни камуфлажни платове в диапазона 400–1100 nm (геометрия 0/45, осветител D65/10°) и за горски камуфлажен десен на литовската армия определят гранични стойности в NIR областта: зелен цвят 40–55 %, кафяв < 25 %, черен < 10 %, при разлика между кафявия и черния цвят над 7 % [23]. Тези показатели обаче не са стабилни в експлоатация: при изпитване на абразия IR отражателният индекс се повишава поради повърхностен гланц [38], а след 20 пранета цветовата разлика при кафявия цвят достига $\Delta E = 4,3$ при допустима по военна спецификация стойност 2,0; освен това NIR-обработените платове показват по-висока запалимост от необработените [39]. Следователно спектралните, механичните и другите експлоатационни изпитвания трябва да се разглеждат във взаимна връзка.

6. Предизвикателства и перспективи

Развитието на нови текстилни технологии налага непрекъснато усъвършенстване на изпитвателните методи. Появата на интелигентни текстили [5], наноматериали [4, 37] и устойчиви екологични продукти изисква разработването на нови стандарти, които да отразяват специфичните характеристики на тези материали. Могат да се открояят три насоки.

Стандартизацията изостава от материалите. За оценка на биоразградимостта на текстил се въвеждат специализирани методи, като ISO 21701 [35], а за нанофункционалните обработки освен ефективността трябва да се оценяват и потенциалните рискове за здравето и околната среда [37].

Субективността на визуалните оценки. Оценката на пилинга по еталони е източник на грешки и ниска ефективност, което стимулира разработването на обективни методи, базирани на машинно зрение: Jiao и съавт. съобщават за точност на класификация 96,26 % върху разнообразни изображения на платове [15]. Въвеждането на такива методи в акредитирани лаборатории изисква валидиране и оценка на неопределеността по т. 3. на износването и прането [38, 39] показват, че показателите трябва да се проверяват и след стандартизирани въздействия.

Акредитираните лаборатории ще продължат да играят ключова роля в процеса на валидиране на новите методики и осигуряване на международно признати резултати [6, 27].

7. Заключение

Стандартизираните изпитвания са основен елемент от съвременното текстилно материалознание. Те осигуряват обективна оценка на свойствата на текстилните материали и създават условия за сравнимост и надеждност на резултатите. Използването на акредитирани лаборатории гарантира висока степен на точност, проследимост и възпроизводимост на измерванията. В научноизследователската дейност тези фактори са от съществено значение за доказване на научните хипотези, разработване на иновативни материали и публикуване на научнообосновани резултати. Следователно взаимодействието между стандартизираните изпитвания и акредитираните лаборатории е фундаментална предпоставка за развитието на текстилната наука и индустрия.

Литература

[1] Horrocks A.R., Anand S.C., eds. Handbook of Technical Textiles. Cambridge: Woodhead Publishing; 2000.
[2] Saville B.P. Physical Testing of Textiles. Cambridge: Woodhead Publishing; 1999. ISBN 978-1-85573-367-1.
[3] Hu J., ed. Fabric Testing. Cambridge: Woodhead Publishing; 2008. ISBN 978-1-84569-297-1.
[4] Yetisen A.K., Qu H., Manbachi A., Butt H., Dokmeci M.R., Hinestroza J.P., Skorobogatiy M., Khademhosseini A., Yun S.H. Nanotechnology in textiles. ACS Nano. 2016;10(3):3042–3068. doi:10.1021/acsnano.5b08176.
[5] Stoppa M., Chiolerio A. Wearable electronics and smart textiles: a critical review. Sensors. 2014;14(7):11957–11992. doi:10.3390/s140711957.
[6] ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: ISO; 2017.
[7] ISO 139:2005. Textiles — Standard atmospheres for conditioning and testing. Geneva: ISO; 2005.
[8] ISO 13934-1:2013. Textiles — Tensile properties of fabrics — Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method. Geneva: ISO; 2013.
[9] ISO 13935-1:2014. Textiles — Seam tensile properties of fabrics and made-up textile articles — Part 1: Determination of maximum force to seam rupture using the strip method. Geneva: ISO; 2014.
[10] ISO 13937-2:2000. Textiles — Tear properties of fabrics — Part 2: Determination of tear force of trouser-shaped test specimens (Single tear method); ISO 13937-4:2000. Part 4: Determination of tear force of tongue-shaped test specimens (Double tear test). Geneva: ISO; 2000.
[11] Morton W.E., Hearle J.W.S. Physical Properties of Textile Fibres. 4th ed. Cambridge: Woodhead Publishing; 2008.
[12] ISO 12947-1:1998; ISO 12947-2:2016; ISO 12947-3:1998; ISO 12947-4:1998. Textiles — Determination of the abrasion resistance of fabrics by the Martindale method — Parts 1–4. Geneva: ISO.
[13] ISO 12945-2:2020. Textiles — Determination of fabric propensity to surface pilling, fuzzing or matting — Part 2: Modified Martindale method. Geneva: ISO; 2020.
[14] Ukponmwan J.O., Mukhopadhyay A., Chatterjee K.N. Pilling. Textile Progress. 1998;28(3):1–57.
[15] Jiao Q., Qian Z., Dong Y., He B. Hybrid feature-based machine vision method for objective evaluation of textile pilling and fuzzing. PLOS ONE. 2025;20(9):e0329814. doi:10.1371/journal.pone.0329814.
[16] ISO 9237:1995. Textiles — Determination of the permeability of fabrics to air. Geneva: ISO; 1995.
[17] ISO 11092:2014. Textiles — Physiological effects — Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test). Geneva: ISO; 2014.
[18] ISO 105-C06:2010; ISO 105-X12:2016; ISO 105-B02:2014. Textiles — Tests for colour fastness — Part C06: Colour fastness to domestic and commercial laundering; Part X12: Colour fastness to rubbing; Part B02: Colour fastness to artificial light: Xenon arc fading lamp test. Geneva: ISO.
[19] CIE 15:2018. Colorimetry. 4th ed. Vienna: CIE; 2018. doi:10.25039/TR.015.2018.
[20] EN 13758-1:2001+A1:2006. Textiles — Solar UV protective properties — Part 1: Method of test for apparel fabrics. Brussels: CEN; 2006.
[21] Gambichler T., Rotterdam S., Altmeyer P., Hoffmann K. Protection against ultraviolet radiation by commercial summer clothing: need for standardised testing and labelling. BMC Dermatology. 2001;1:6. doi:10.1186/1471-5945-1-6.
[22] Hoffmann K., Laperre J., Avermaete A., Altmeyer P., Gambichler T. Defined UV protection by apparel textiles. Archives of Dermatology. 2001;137(8):1089–1094.
[23] Rubežienė V., Padleckienė I., Baltušnikaitė J., Varnaitė S. Evaluation of camouflage effectiveness of printed fabrics in visible and near infrared radiation spectral ranges. Materials Science (Medžiagotyra). 2008;14(4):361–365.
[24] Regulation (EC) No 765/2008 of the European Parliament and of the Council of 9 July 2008 setting out the requirements for accreditation and market surveillance relating to the marketing of products. Official Journal of the European Union. 2008;L 218:30–47.
[25] ILAC P10:07/2020. ILAC Policy on Metrological Traceability of Measurement Results. International Laboratory Accreditation Cooperation; 2020.
[26] ISO 5725-2:2019. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method. Geneva: ISO; 2019.
[27] ISO/IEC 17043:2023. Conformity assessment — General requirements for the competence of proficiency testing providers. Geneva: ISO; 2023.
[28] ISO 13528:2022. Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison. Geneva: ISO; 2022.
[29] JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). Sèvres: BIPM; 2008.
[30] Ellison S.L.R., Williams A., eds. Eurachem/CITAC Guide CG 4: Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. 3rd ed. Eurachem; 2012.
[31] ISO 20743:2021. Textiles — Determination of antibacterial activity of textile products. Geneva: ISO; 2021.
[32] Gao Y., Cranston R. Recent advances in antimicrobial treatments of textiles. Textile Research Journal. 2008;78(1):60–72. doi:10.1177/0040517507082332.
[33] Morais D.S., Guedes R.M., Lopes M.A. Antimicrobial approaches for textiles: from research to market. Materials. 2016;9(6):498. doi:10.3390/ma9060498.
[34] ISO 14855-1:2012. Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions — Method by analysis of evolved carbon dioxide — Part 1: General method. Geneva: ISO; 2012.
[35] ISO 21701:2019. Textiles — Test method for accelerated hydrolysis of textile materials and biodegradation under controlled composting conditions of the resulting hydrolysate. Geneva: ISO; 2019.
[36] Sawhney A., Condon B., Singh K., Pang S., Li G., Hui D. Modern applications of nanotechnology in textiles. Textile Research Journal. 2008;78(8):731–739. doi:10.1177/0040517508091066.
[37] Syduzzaman M., Hassan A., Anik H.R., Akter M., Islam M.R. Nanotechnology for high-performance textiles: a promising frontier for innovation. ChemNanoMat. 2023;9(9):e202300205. doi:10.1002/cnma.202300205.
[38] Perdum E., Visileanu E., Dinca L., Dondea F. Study on the IR spectral stability of camouflage fabrics after durability tests. Annals of the University of Oradea, Fascicle of Textiles, Leatherwork. 2026;27(1):101–110.
[39] Yahaya R., Zainal Abidin S.B., Wan Abdullah W.F., Wan Adnan W.E.A., Mohd Yunos M.N.A., Zubir A., Zahari N., Mohd Rahimi M.R. Development and characterisation of near-infrared camouflage fabrics for military combat uniform. Journal of Industrial Textiles. 2025. doi:10.1177/15280837251319055.