Forensic Science, 4'2026
ISSN: 3083-6085 (print), 3083-6093 (online)

УДК 343.98
DOI https://doi.org/10.32782/forensic.science.2026.4.15



Ірина Оленич
провідний судовий експерт лабораторії досліджень матеріалів,
речовин та виробів,
Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз
Міністерства юстиції України
https://orcid.org/0009-0001-5746-3642



Наталія Хомич
кандидат сільськогосподарських наук,
заступник директора з наукової роботи,
Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз
Міністерства юстиції України
https://orcid.org/0009-0008-9857-2221

СУДОВО-ЕКСПЕРТНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ: ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ДІАГНОСТИЧНОГО ПОШУКУ

У статті висвітлено теоретичні та практичні аспекти застосування нетканих матеріалів як інноваційного технологічного рішення для різних галузей промисловості, зокрема для медичної галузі для створення матеріалів медичного призначення. Розглянуто особливості їхньої будови, волокнистого складу, а також ключові технологічні етапи виробництва. Коротко описано історію виникнення нетканих матеріалів: від простих однорідних волокнистих структур до технологій Spunbond, Meltblown, Spunlace з подальшим розвитком до «сендвіч-панелей» SMS та SMMS. Проаналізовано сучасні наукові дослідження, присвячені технологіям їх виготовлення. Зокрема, показано, як удосконалюються неткані матеріали – на зміну 100%-й синтетиці на ринок виходять натуральні або штучні волокна в різних комбінаціях із синтетичними волокнами, що призводить до появи нових технологій створення і формування композитних та комбінованих багатошарових структур. Це сприяє утворенню нових ознак. Розглянуто основні способи формування волокнистого полотна, його механічного, термічного та хімічного скріплення, а також особливості подальшої обробки. На основі аналізу технологічних процесів Dry-laid, Wet-laid, Spunbond, Meltblown та Spunlace сформовано структуровані матриці діагностичних параметрів, які оптимізують етап диференціації об'єктів. Окрему увагу приділено проблемі діагностичної невизначеності, пов'язаної з наявністю неоднозначних ознак на етапах формування, скріплення й оздоблення полотен. Показано, що окрема структурна ознака не завжди дає змогу однозначно встановити спосіб її утворення, оскільки подібні особливості можуть бути результатом різних технологічних впливів. Обґрунтовано необхідність комплексного оцінювання встановлених ознак з урахуванням волокнистого складу, структури, характеру контактів між компонентами й особливостей технологічної обробки матеріалу. Запропонований методичний підхід дає змогу систематизувати процес експертного пошуку під час проведення досліджень і мінімізувати ризик експертних помилок у процесі оцінки сучасних нетканих текстильних матеріалів.

***Ключові слова**: неткані матеріали, композитні структури, судова експертиза, діагностичні ознаки, диференціація, Spunbond, Meltblown, Spunlace.*

Постановка проблеми. Попри широке застосування нетканих матеріалів у різних галузях промисловості, у судово-експертній практиці вони залишаються недостатньо представленими як об'єкти дослідження волокнистої природи. Складна та багатокомпонентна будова сучасних нетканих матеріалів, різноманітність волокнистої сировини, способів формування полотна та технологій з'єднання волокон у структуру полотна, а також особливості їхніх окремих шарів зумовлюють необхідність систематизації відомостей про їхню будову, склад, технологічні особливості та комплекс діагностичних ознак.

Потреба в розширенні науково-методичної основи експертного дослідження таких об'єктів визначає доцільність аналізу зарубіжного досвіду їхнього дослідження, а також узагальнення підходів, які можуть бути застосовані під час проведення судово-експертних досліджень нетканих текстильних матеріалів.

Мета статті полягає у формуванні принципів побудови комплексу діагностичних, класифікаційних та ідентифікаційних ознак нетканих текстильних матеріалів для вдосконалення науково-методичних підходів до їх судово-експертного дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання вивчення властивостей, ознак та функцій на тлі постійно зростаючого широкого використання нетканих матеріалів були предметом численних наукових досліджень різних вітчизняних і особливо зарубіжних вчених.

Зразковим є внесок у дослідження зазначених питань, який зробили J. Russel, A. Midha, R. Anandjiwala, V. K. Midha, P. Thomas, M. Ueland та інші дослідники, праці яких присвячені технологіям формування та скріплення нетканих полотен, особливостям їхньої структури, фізико-механічним і функціональним властивостям, а також застосуванню нетканих матеріалів у різних галузях, зокрема в медицині та засобах індивідуального захисту.

Серед українських дослідників варто зазначити О. В. Кириченко. Її дисертація присвячена формуванню асортименту й оцінюванню якості геотекстильних нетканих матеріалів. Досліджувалися структура, властивості, стійкість до біодеструкції тощо [1]. При цьому фахівці у сфері експертизи прямо зазначають, що отримані в її роботі методичні підходи мають значення для судових експертів напряму товарознавчих досліджень і можуть бути використані в судово-експертній діяльності.

А. М. Слізков та О. С. Гудзенко досліджували структуру нетканих матеріалів та її вплив на властивості, зокрема деформацію під час стискання [2, с. 280–282]. Ю. О. Будаш, Т. М. Шилінцева працювали над роботою, що стосується композиційних нетканих матеріалів, зокрема термоскріплення та використання бікомпонентних волокон типу «ядро / оболонка» [3]. Р. І. Водько та Т. В. Гірна досліджували структуру та способи виробництва / скріплення нетканих матеріалів, результати якої викладені в роботі «Аналіз асортименту та структури нетканого матеріалу» [4, с. 341–342].

У криміналістичній літературі основна увага традиційно приділялася волокнам і тканим текстильним матеріалам. Автори B. Stuart, J. Guan, S. Collins прямо зазначають, що в судово-медичних дослідженнях нетканим матеріалам досі приділялася мінімальна увага. Ними було проведено дослідження побутових серветок із нетканого матеріалу. Це дослідження продемонструвало, що існують варіації у складі нетканих матеріалів, які використовуються для виробництва легкодоступних побутових серветок. Інфрачервона спектроскопія є ефективним інструментом для швидкої ідентифікації основних компонентів нетканих матеріалів. Численні способи використання нетканих волокон, від особистих серветок до геотекстилю, означає, що існує зростаюча ймовірність зустрічі з цими матеріалами як доказами, і більш детальне дослідження нетканих матеріалів різних виробників надасть корисний ресурс для експертної практики [5, с. 144–153].

Огляд сучасних публікацій показує, що дослідження у сфері медичних нетканих матеріалів розвиваються переважно у трьох напрямах: удосконалення технологій формування полотен (spunbond, meltblown, spunlace), створення багатошарових композитних конструкцій для підвищення бар'єрних властивостей та оцінка їх механічних, фізичних і гігієнічних характеристик.

Сучасний етап розвитку нетканих матеріалів можна розглядати не як повернення до натуральної сировини, а як перехід до функціонально орієнтованих багатокомпонентних

систем, у яких кожен компонент виконує визначену роль.

Але є ще один дуже важливий фактор, який почав діяти вже у XXI столітті, – екологічний. Після пандемії COVID-19 світ буквально зіткнувся з горами використаних масок, халатів, комбінезонів та інших виробів із поліпропілену. За деякими оцінками, щомісяця використовувалися десятки мільярдів одиниць одноразових засобів захисту. Виявилося, що матеріал, який ідеально підходить для одноразового застосування, створює серйозну проблему після використання. Тому зараз розвиток галузі відбувається вже за трьома напрямами одночасно:

1. Забезпечення захисних властивостей.
2. Забезпечення комфорту.
3. Зменшення екологічного навантаження.

Саме тому в науковій літературі останніх років дедалі частіше з'являються дослідження щодо бавовняних нетканих матеріалів, ліоцелу, віскози, целюлозних волокон, біорозкладних полімерів, комбінованих багатошарових систем.

Створення нетканих матеріалів із бавовни за технологіями Л. Уодсворта та К. Дакетта базується на розв'язанні однієї фундаментальної проблеми: натуральна бавовна сама по собі не є термопластичною, тобто її волокна не плавляться і не можуть скріпитися між собою під дією тепла. Щоб отримати міцне неткане полотно екологічним шляхом, науковці Університету Теннессі розробили технологію термічного каландрування сумішей бавовни зі сполучними термопластичними волокнами [6, с. 60–76].

Результатом їхньої співпраці (а також роботи з індійським колегою В. Баласубраманьяном) став вихід бавовни на ринок одноразового медичного та захисного одягу, де раніше панувала виключно 100%-на синтетика. Вони довели, що натуральну бавовну можна успішно поєднувати з полімерами для створення м'яких, екологічних та безпечних матеріалів [7, с. 44–48].

До їхніх досліджень медичні одноразові халати, серветки та маски робили суто з нафтопродуктів (100%-й поліпропілен чи поліефір), оскільки синтетику легко склеїти нагріванням. Бавовну не використовували, адже вона горить, але не плавиться.

Л. Уодсворт і Л. Дакетт розробили дві унікальні структури сендвіч-типу [8, с. 167–178; 9, с. 179–188]: Cotton-Surfaced Nonwovens (CSN) та Cotton-Core Nonwovens (CCN).

Cotton-Surfaced Nonwovens (CSN): матеріал, де бавовна розташована на поверхні (з обох боків), а всередині – тонкий шар синтетичного полімеру, отриманий методом *meltblown* (видування розплаву). Під час каландрування (стискання гарячими валами) внутрішня синтетика проплавлялася крізь бавовну і скріплювала її. Матеріал виходив м'яким на дотик, гіпоалергенним і дихаючим.

Cotton-Core Nonwovens (CCN): тут, навпаки, бавовняна основа («серцевина») затискалася між двома зовнішніми шарами міцного синтетичного полотна типу spunbond. Це давало неймовірну міцність і високе поглинання вологи всередині (ідеально для хірургічних пелюшок).

Екологічним проривом став біорозкладний текстиль (Compostable Nonwovens) – Керміт Дакетт разом із колегами запатентував технологію повністю біорозкладних нетканих матеріалів [10]. Це стало основою для сучасних екосерветок і засобів гігієни.

Л. Уодсворт запатентував технологію багатошарових композитів, які містять целюлозні та бавовняні волокна, що мають покращений капілярний ефект [11]. Рідкі виділення миттєво вбиралися й розподілялися по матеріалу, що згодом почали використовувати у виробництві дитячих підгузків та медичних пов'язок.

Аналіз наукових праць свідчить, що основна увага приділяється розробленню нових нетканих матеріалів, удосконаленню технологій їх виготовлення й оцінці їх експлуатаційних характеристик, тобто матеріалознавчим питанням, тоді як питання комплексного дослідження сучасних композитних нетканих матеріалів як об'єктів експертної ідентифікації висвітлені значно менше.

Саме відсутність узагальненого підходу до встановлення волокнистого складу, будови та технологічних особливостей сучасних нетканих, зокрема композитних, матеріалів обумовила вибір напряму цієї статті.

Викладення основного матеріалу. На відміну від традиційних тканин і трикотажних полотен, структура нетканих матеріалів формується без процесів ткацтва або в'язання. Виробництво таких матеріалів ґрунтується на формуванні волокнистого шару та його подальшому механічному, термічному або

хімічному скріпленні. Це дає змогу значно скоротити технологічний цикл виробництва, знизити витрати сировини й отримувати матеріали із заздалегідь визначеним комплексом властивостей. Завдяки широким можливостям регулювання волокнистого складу, структури та способу скріплення неткані матеріали можуть характеризуватися високою міцністю, малою масою, повітропроникністю, гігроскопічністю, фільтрувальними, теплоізоляційними або бар'єрними властивостями. Це зумовило їх широке застосування в медицині, будівництві, автомобілебудуванні, сільському господарстві, пакувальній промисловості, виробництві геотекстилю, ізоляційних та фільтрувальних матеріалів, засобах особистої гігієни та догляду, побуті та багатьох інших галузях.

Важливу роль неткані матеріали відіграють у сфері охорони здоров'я. На відміну від традиційного багаторазового медичного одягу, який потребує багатоетапного очищення, прання та стерилізації, вироби одноразового використання забезпечують високий рівень санітарно-гігієнічної безпеки та мінімізують ризики, пов'язані з повторною експлуатацією. Завдяки цьому вони стали основою для виготовлення хірургічних халатів, операційних покриттів, захисних масок, респіраторів та інших засобів індивідуального захисту медичного призначення [12].

Додаткової актуальності дослідження таких матеріалів набуло в умовах воєнного стану та зростання потреб військової медицини. Значна кількість поранених потребує проведення хірургічних втручань як у стаціонарних медичних закладах, так і в польових умовах. За таких обставин особливі вимоги висуваються до хірургічного одягу медичного персоналу, який має поєднувати високі бар'єрні властивості, стійкість до проникнення біологічних рідин, механічну міцність, комфортність під час використання та відповідність вимогам стерильності. Подальший розвиток технологій сприяв створенню багатошарових і композитних нетканих матеріалів, що поєднують переваги різних видів волокон та способів формування структури полотна.

Прикладом таких багатошарових комбінованих нетканих структур є матеріали, описані в науковій роботі А. Рафікова, Н. Мірзаєва та співавторів [13]. Указані об'єкти поєднують у собі кардочесане голкопробивне полотно з верблюжої або овечої вовни та бавовни, армоване полімерною плівкою, кріплене гарячим каландруванням. Зовнішній шар конструкції сформовано з трикотажного текстилю, фіксованого клейовим способом.

Нормативне визначення терміна «нетканий матеріал» закріплене в українському ДСТУ: це спеціально сформована волокниста структура, переважно площинна, якій надано заданого рівня структурної цілісності фізичними та/або хімічними способами, за винятком ткацтва, трикотажного виробництва та папероробства [14]. Згідно з визначенням INDA (Міжнародної асоціації нетканих та одноразових матеріалів), неткані матеріали в широкому сенсі визначаються як листові або полотняні структури, скріплені між собою шляхом переплітання волокон або ниток (і перфорування плівок) механічним, термічним або хімічним шляхом. Це плоскі, пористі листи, виготовлені безпосередньо з окремих волокон або з розплавленого пластику чи пластикової плівки. Вони не виготовляються шляхом ткацтва чи в'язання і не потребують перетворення волокон на пряжу [15].

В українській термінології є визначення таких нетканих полотен, як «в'язально-прошивне полотно», «холстопрошивне полотно», «ниткопрошивне полотно», «голкопробивне полотно», «клеєне полотно», «термоскріплене полотно», «фільєрне полотно», «папероробне полотно», «повстяно-валяльне полотно». Усі ці терміни закріплені в Державному стандарті ДСТУ [16, с. 25–27].

На початкових етапах виробництва переважно використовувалися натуральні волокна, насамперед вовна, бавовна, які характеризувалися гігроскопічністю, повітропроникністю та комфортністю під час контакту зі шкірою. З найдавніших часів відомі два види нетканих матеріалів: повсть і фетр (фільц), відомий також ватин. Проте обмежені можливості регулювання властивостей таких матеріалів, а також потреба у здешевленні та масовому виробництві продукції сприяли широкому впровадженню синтетичних волокон.

Розвиток технологій виробництва нетканих матеріалів закономірно призвів до їх ускладнення. Якщо раніше неткані матеріали характеризувалися відносно простою структурою та однорідним волокнистим складом,

то сучасні неткані полотна нерідко являють собою багатошарові композитні конструкції, сформовані з волокон різної природи та виготовлені із застосуванням різних технологій скріплення.

У другій половині XX століття розвиток полімерної хімії та технологій формування волокон зумовив стрімке поширення нетканих матеріалів на основі поліпропілену та поліефіру. Такі матеріали забезпечували високу міцність, низьку масу, стабільність властивостей, біологічну інертність і можливість виготовлення одноразових виробів у промислових масштабах.

Подальший розвиток галузі показав, що поряд із захисними властивостями важливими характеристиками медичних матеріалів залишаються комфортність використання, здатність поглинати вологу, повітропроникність та зменшення теплового навантаження на користувача. Це сприяло появі багатошарових і композитних конструкцій, у яких синтетичні волокна поєднуються з бавовняними або іншими природними компонентами. У таких матеріалах кожен шар виконує окрему функцію: синтетичні волокна забезпечують бар'єрний захист і механічну міцність, тоді як бавовна підвищує гігієнічні та ергономічні властивості виробу.

Процес виробництва нетканих матеріалів можна поділити на три основні стадії: 1) формування ґрунту з волокон, пряжі, ниток, плівок у вигляді ватки, рівномірного настилу або навою ниток основи; 2) з'єднання складових елементів ґрунту в суцільне полотно; 3) обробка (оздоблення) полотна.

Неткані матеріали можна загалом класифікувати за двома аспектами [17, с. 3–4]: на основі технологій, як показано на рис. 1, і на основі структур, як показано на рис. 2.

Застосовуються такі технології: Dry-laid, Wet-laid, Needle punching, Stitchbond, Spunbond, Meltblown, Spunlace.

Спанбонд (Spunbond), мельтблаун (Meltblown), спанлейс (Spunlace) – це не назви матеріалів, а назви технологій формування нетканого полотна з розплаву полімеру.

Спанбонд (Spunbond) – це одна з найпоширеніших технологій виробництва нетканих матеріалів. «Спочатку сформовані волокна, потім скріплені в полотно».

Полімер (найчастіше поліпропілен, рідше поліестер) плавиться → розплав продавлюється через фільєри → утворюються безперервні нитки (філаменти) → вони витягуються повітрям → осідають на транспортер → полотно скріплюється термічно.

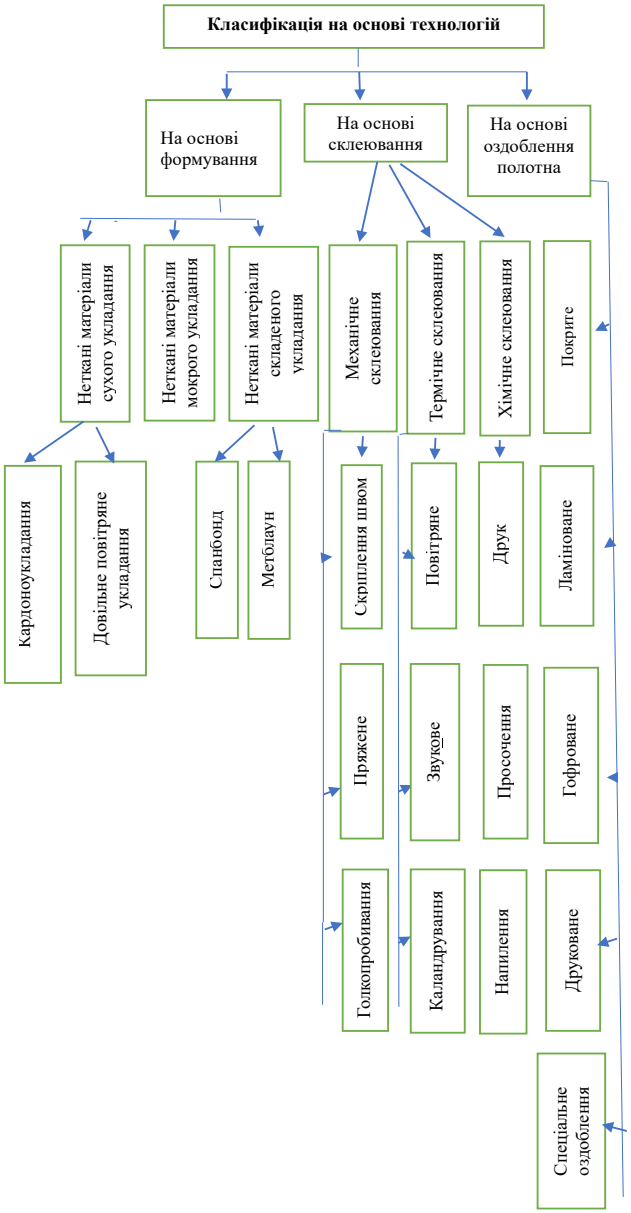


Рис. 1

Ідея полягала в тому, щоб не виготовляти волокно окремо → не намотувати його → не переробляти повторно, а відразу після виходу з фільєри укладати безперервні нитки у полотно. Для свого часу це була революція.

Ознаки спанбонду під мікроскопом – безперервні довгі волокна; майже однаковий діаметр волокон (діаметр волокон спанбонду приблизно 15–40 мкм); волокна гладкі; добре видно точки термічного скріплення; структура відносно пухка. Цей матеріал має високу

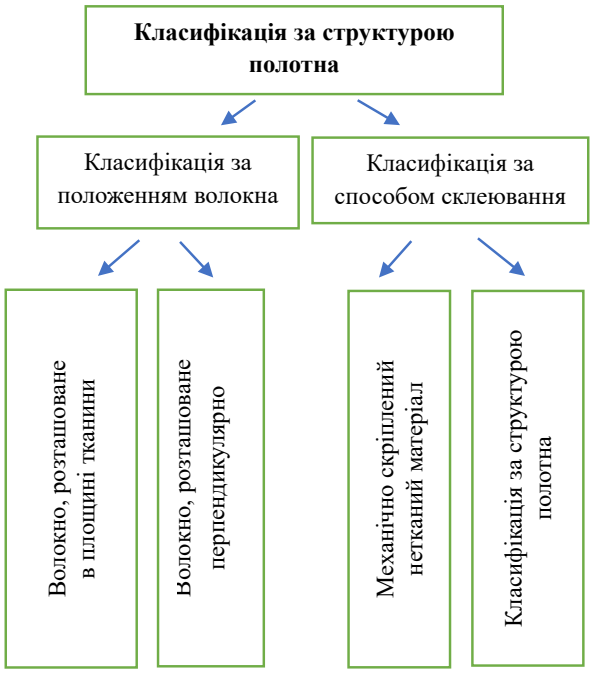


Рис. 2

міцність, невелику масу, хорошу повітропроникність та низьку собівартість.

Мельтблаун (Meltblown). Технологія виробництва схожа з технологією спанбонд, але є принципова різниця. Після виходу розплаву полімеру через фільєри його відразу роздмухують потужними потоками гарячого повітря високої швидкості. Унаслідок цього утворюються надзвичайно тонкі волокна (приблизно 1–5 мкм, іноді навіть менше).

Ознаки мельтблаун під мікроскопом: матеріал нагадує павутиння – дуже дрібні волокна; висока щільність укладання; майже неможливо простежити окремі нитки; полотно м'якше.

Основна функція – не міцність, а фільтрація, бар'єрні властивості. Саме мельтблаун став основою медичних масок і респіраторів.

Спанлейс (Spunlace) (spun – волокнистий шар; lace – мереживо, переплітати, зв'язувати). Буквально: spunlace – волокнисте полотно, скріплене переплутуванням волокон. У технічному сенсі – волокна скріплюються струменями води високого тиску. Тому інша назва технології – Hydroentanglement (гідросплутування). Саме цей термін сьогодні частіше використовується в наукових публікаціях.

Коли розробники зрозуміли, що спанбонд міцний, але слабко фільтрує, а мельтблаун добре фільтрує, але крихкий, виникла ідея їх поєднати. Так з'явився композитний матеріал SMS. Це Spunbond + Meltblown + Spunbond. Зовнішні шари забезпечують міцність і зносостійкість. Середній шар – бар'єрний захист, фільтрацію.

У подальшому утворився матеріал SMMS – спанбонд-мельтблаун-мельтблаун-спанбонд, що містить два фільтрувальні шари. Такі матеріали застосовують у посилених хірургічних халатах, операційних покриттях, високобар'єрному медичному одязі.

Сучасні медичні неткані матеріали не обмежуються лише SMS-конструкціями, а можуть являти собою складні композити з натуральних і синтетичних волокон.

Spunlace став популярним у медицині. SMS-матеріали мають чудову бар'єрність. Але вони є менш м'якими, менш комфортні, гірше поглинають вологу.

Spunlace дав змогу ефективно використовувати бавовну, віскозу, а також їхні суміші з поліефіром; отримувати текстильноподібну структуру. Саме тому спанлейс часто називають fabric-like nonwoven (нетканий матеріал із властивостями тканини). Для хірургічних халатів це важливо.

Таким чином, сучасний етап розвитку нетканих матеріалів можна розглядати як перехід до функціонально орієнтованих багатокомпонентних систем, у яких кожен компонент виконує визначену роль.

Для судово-експертного дослідження нетканих матеріалів принципово розділяти три технологічні етапи:

1. Формування волокнистого полотна – яким чином волокна або нитки утворили первинний шар. Ознаки способу формування полотна наведені в таблиці 1 [17; 18].

2. Скріплення полотна – чим забезпечена його структурну цілісність. Ознаки способу скріплення полотна наведені в таблиці 2 [17; 18].

3. Оздоблення або з'єднання шарів – які додаткові операції змінили поверхню чи будову готового матеріалу. Ознаки оздоблення або з'єднання шарів наведені в таблиці 3 [17; 18].

Для систематизації діагностичних ознак нетканих матеріалів доцільно розглядати їх відповідно до трьох груп технологічних операцій: формування волокнистого полотна, його скріплення та подальшого оздоблення або з'єднання шарів. Такий поділ дає змогу пов'язати виявлені структурні й морфоло-

гічні особливості з можливими механізмами їх утворення, не ототожнюючи при цьому окрему ознаку з конкретною технологією.

Ці параметри відповідають основним технологічним групам, що описані в сучасних оглядах про неткані матеріали.

Важливий принцип: однаковий спосіб скріплення може застосовуватися до полотен, сформованих різними способами. Тому ознаки скріплення не слід автоматично використовувати для визначення способу формування. Також одна структурна ознака, яка може виникнути внаслідок різних технологічних впливів, сама по собі не дає змоги однозначно встановити спосіб скріплення.

Ознаки оздоблення теж можуть вводити експерта в оману щодо технології формування або скріплення. Наприклад, гофрування змінює просторову орієнтацію волокон; покриття може маскувати їхні контакти; ламінування створює багатошарову структуру, яку можна помилково прийняти за структуру, сформовану під час виготовлення самого полотна. Рельєфні (тиснені) ділянки поверхні можуть бути наслідком як операцій оздоблення, так і термічного скріплення; технологічна інтерпретація потребує встановлення морфологічних характеристик цих ділянок та їх функціонального призначення.

У типовій тришаровій медичній масці є три шари – зовнішній, внутрішній, а між ними фільтрувальний шар. По краях і/або на окремих ділянках шари можуть бути з'єднані термічно. Нагріті елементи обладнання притискають матеріал, і в місцях контакту термопластичні компоненти розм'якшуються та з'єднуються. Тоді видимий рисунок – діагностична ознака термічного скріплення, а не оздоблення. Але тиснення може бути і власне оздобленням. Якщо рельєф створено після формування та скріплення полотна і він не виконує функції з'єднання

Таблиця 1

Ознаки способу формування полотна

Спосіб	Діагностичні параметри, які досліджують
Кардочесання	Розподіл волокон за напрямками, переважна орієнтація вздовж ходу машин, неоднорідність волокнистого шару, довжина волокон – середні і довгі
Аеродинамічне формування	Орієнтація та просторовий розподіл волокон, характер їх укладання – максимальна хаотичність, рівномірний розподіл, використання штапельованих волокон, висока пористість
Мокре формування	Розподіл коротких волокон, їх орієнтація – випадкова двовимірна, характер неоднорідності структури, висока щільність, мінімальна товщина
Spunbond	Наявність безперервних філаментів, їх діаметр – довгі безперервні елементи однакового каліброваного діаметра 15–40 мкм, орієнтація та характер розподілу
Meltblown	Наявність переважно дуже тонких полімерних волокон, розподіл діаметрів – варіативність мікродіаметрів 1–5 мкм, характер переплутування та укладання – павутиння, висока щільність укладання, простеження однієї нитки практично неможливо
Формування з розщепленої плівки	Стрічкоподібні або сітчасті елементи, характерні розщеплення та поздовжні розгалуження

Таблиця 2

Ознаки способу скріплення полотна

Спосіб скріплення	Ознаки, які доцільно встановлювати
Голкопробивне	Переміщення волокон у напрямку товщини, утворення скріплювальних петель, наявність вертикальних пучеів волокон, локальні зони переплутування, характерні канали або сліди голок, якщо вони збереглися
Гідроструменеве	Просторове переплутування волокон, локальна зміна їх орієнтації та щільності, можливий повторюваний рисунок структури, без будь-яких ознак руйнування, плавлення
Термічне каландрування	Локальне сплющення й ущільнення, зони контакту та можливого сплавлення термопластичних компонентів, за тисненого каландрування – повторюваний рельєф
Термічне скріплення гарячим повітрям	Локальні контакти та сплавлення термопластичних компонентів без обов'язкової наявності виражених плоских точок скріплення, полотно залишається максимально об'ємним
Хімічне скріплення	Наявність сполучної речовини, плівок, покриттів або містків між волокнами, якщо вони виявляються застосованими методами, волокна склеєні, але не деформовані
Скріплення прошиванням	Наявність стібків, ниток і регулярних проколів, які утворюють характерну систему скріплення

Таблиця 3

Ознаки оздоблення та додаткової обробки

Тип оздоблення	Ознаки, які доцільно встановлювати
Покрите	Наявність поверхневого шару іншої речовини, характер розподілу покриття, суцільність / переривчастість, зміна поверхні волокон, зміна товщини та проникності
Ламінування	Наявність двох або більше шарів, чітка межа між шарами, характер з'єднання шарів, наявність проміжного шару або локальних ділянок з'єднання
Друкування	Локальна зміна забарвлення, повторюваний рисунок, чіткість меж рисунка, локалізація барвника переважно на поверхні або його проникнення в структуру
Гофрування	Регулярний рельєф поверхні, повторюваність складок / хвиль, визначений крок і висота рельєфу, зміна товщини та просторової конфігурації полотна
Хімічне оздоблення(просочення)	Наявність хімічних речовин, плівок, рівномірна мікроплівка на кожному волокні
Механічне ворсування	Наявність розпушених кінців, наявність вираженого ворсу, ворс має тенденцію нахилу в один бік

волокон / шарів, то тиснення (embossing) є процесом оздоблення.

Нетканий матеріал слід оцінювати не за однією ознакою, а за сукупністю незалежних параметрів:

1. Морфологія волокон і ниток: штапельні волокна чи безперервні філаменти, форма та діаметр волокон.

2. Орієнтація та розподіл: переважний напрямок, ступінь хаотичності, рівномірність укладання, паралельність / перпендикулярність.

3. Просторова структура: пористість, товщина, щільність, розподіл волокон за товщиною.

4. Характер контактів: механічне переплутування, сплавлення, наявність сполучної речовини.

5. Просторова регулярність: розташування ділянок скріплення, повторюваність рисунка, напрямок і крок структурних елементів.

6. Хімічні характеристики: встановлення складу волокон і додаткових компонентів.

У процесі експертного дослідження пізнання об'єкта здійснюється послідовно: від спостереження його зовнішніх і внутрішніх ознак до їх інтерпретації, диференціювання й обґрунтування отриманих результатів. На етапі спостереження встановлюється фактична будова досліджуваного матеріалу та фіксуються його ознаки. Інтерпретація передбачає пояснення сутності встановлених ознак на основі спеціальних знань, визначення можливих механізмів їх утворення та причинно-наслідкових зв'язків. Диференціювання полягає у порівняльному аналізі встановлених ознак, їх зіставленні та відмежуванні альтернативних пояснень. Обґрунтування є результатом синтезу отриманих даних і полягає в оцінюванні їх сукупності та достатності для вирішення поставленого експертного завдання.

Висновки. Сучасні неткані полотна та їхні багатошарові композити характеризуються високою технологічною поліваріантністю, що зумовлює діагностичну невизначеність, пов'язану з перекриванням і неоднозначністю морфологічних ознак, сформованих на різних стадіях виробництва.

Запропоновано адаптацію загальноекспертної послідовності наукового пізнання – спостереження, інтерпретація, диференціація, обґрунтування – до специфіки дослідження нетканих матеріалів. Показано, що подолання діагностичної невизначеності досягається оцінюванням комплексу встановлених ознак, характерних для формування полотен, їх скріплення та подальшої обробки з урахуванням складу матеріалу.

Розроблено структуровану систему критеріїв, яка забезпечує експерта орієнтирами для реалізації етапу диференціації за сукупністю ознак, що характеризують склад, структуру й особливості технологічної обробки нетканого матеріалу.

Оскільки встановлення способу формування, скріплення чи оздоблення нетканого полотна не завжди є безпосереднім завданням експертного дослідження, технологічні ознаки доцільно розглядати передусім як характеристики, що використовуються для ідентифікації, диференціації та встановлення відповідності досліджуваних об'єктів. Їх технологічна інтерпретація може бути необхідною для правильного розуміння походження встановлених особливостей, однак не повинна автоматично ототожнюватися з кінцевим експертним висновком.

Список використаної літератури:

1. Кириченко О. В. Формування асортименту та комплексне оцінювання якості геотекстильних нетканих матеріалів : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.08. Львів, 2018. 226 арк.
2. Слізков А. М., Гудзенко О. С. Вплив структури нетканого матеріалу на деформацію його стискання. *Збірник матеріалів II Міжнародної наукової конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion*. Київ, 1–2 листопада 2018 р. Київ : КНУТД, 2018. С. 280–282.
3. Шилінцева Т. М. Технологія одержання композиційних нетканих матеріалів функціонального призначення : дипломна магістерська робота за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія» / Т. М. Шилінцева ; наук. кер. Ю. О. Будаш. Київ : КНУТД, 2021. 121 с.
4. Водько Р. І., Гірна Т. В. Аналіз асортименту та структури нетканого матеріалу. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі : тези доповідей XУ1 Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів (Київ, 27-28 квітня 2017 р.)*. Київ : КНУТД, 2017. Т. 1. С. 341–342.
5. Stuart B., Guan J., Collins S., Thomas P., Ueland M. A preliminary study of non-woven fabrics for forensic identification purposes. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2024. Vol. 56, No. 2. P. 144–153. DOI: https://doi.org/10.1080/00450618.2022.2143563.
6. Gosavi N., Wadsworth L. C., Duckett K. E. Nonwoven Laminates Containing Cotton for Medical Applications. Journal of Coated Fabrics. 1994. Vol. 24, No. 1. P. 60–76. DOI: https://doi.org/10.1177/152808379402400106.
7. Wadsworth L. C., Balasubramanian V., Duckett K. E. Termal bonding of cotton/ polypropylene blends. *Nonwovens Industry*. 1993. Vol. 24. P. 44–48.
8. Wadsworth L. C., Duckett K. E. Development of Innovative Cotton-Surfaced Nonwovens for Medical Applications. *Journal of Industrial Textiles*. 2002. Vol. 31, No. 3. P. 167–178.
9. Sun C., Zhang D., Wadsworth L. C., McLean M. Development of Innovative Cotton-Surfaced Nonwoven Laminates. Journal of Industrial Textiles. 2002. Vol. 31, No. 3. P. 179–188. DOI: https://doi.org/10.1106/152808302026111.
10. Compostable/Biodegradable Nonwovens: Patent US 5,783.505/ Duckett K. E., Wadsworth L. C., Malhotra V., Balasubramanian V.; applicant: University of Tennessee Research Corporation. No. 08/614,357; filed 12.03.1996; publ.21.07.1998.
11. Fibrous webs comprising cellulosic and cotton fibers having improved capillary flow: Patent US 5,683.794/ applicant: University of Tennessee Research Corporation. No. 08/425,720; filed 20.04.1995; publ. 04.11.1997.
12. Moylan J. A., Fitzpatrick K. T., Davenport K. E. Reducing Wound Infections: Improved Gown and Drape Barrier Performance. *Archives of Surgery*. 1987. Vol. 122, No. 2. P. 152–157. DOI: https://doi.org/10.1001/archsurg.1987.01400140034003.
13. Rafikov A., Mirzayev N., & Alimkhanova S. Multilayer nonwoven lining materials made of wool and cotton for clothing and footwear. Journal of Industrial Textiles. 2022. Vol. 51(1_suppl). P. 1381S–1396S.
14. ДСТУ EN ISO 9092:2022. Неткані матеріали. Словник термінів (EN ISO 9092:2019, IDT; ISO 9092:2019, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
15. Association of the Nonwoven Fabrics Industry (INDA) : official website. URL: https://www.inda.org/about-nonwovens/ (дата звернення: 07.10.2026)
16. ДСТУ 2201-93 Полотна текстильні. Види, Дефекти Терміни та визначення. Держстандарт України, Київ, 1994. С. 25–27.
17. Karthik T., Prabha Karan C., Rathinamoorthy R. Nonwovens: Process, Structure, Properties and Applications. Cambridge : Woodhead Publishing India, 2017. 374 p.
18. European Disposables and Nonwovens Association (EDANA) : official website. URL: https://www.edana.org/nw-related-industry/how-are-nonwovens-made (дата звернення: 07.10.2026)

References:

1. Kyrychenko, O. V. (2018). *Formuvannia asortymentu ta kompleksne otsiniuvannia yakosti heotekstylnykh netkanykh materialiv* [Formation of product range and integrated quality assessment of geotextile nonwoven materials] (Doctoral dissertation, Lviv) [in Ukrainian].
2. Slizkov, A. M., & Hudzenko, O. S. (2018). *Vplyv struktury netkanoho materialu na deformatsiiu yoho styskannia* [Influence of the structure of nonwoven material on its compression deformation]. In *Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi. Zbirnyk materialiv II Mizhnarodnoi naukovoi konferentsii*

tekstylnykh ta feshn tekhnolohii KyivTex&Fashion [Scientific developments of youth at the present stage. Collection of materials of the II International Scientific Conference of Textile and Fashion Technologies KyivTex&Fashion] (pp. 280–282). Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].

3. Shylintseva, T. M. (2021). *Tekhnolohiia oderzhannia kompozytsiinykh netkanykh materialiv funktsionalnoho pryznachennia* [Technology of obtaining composite nonwoven materials for functional purposes] (Master's thesis, Kyiv). KNUTD [in Ukrainian].
4. Vodko, R. I., & Hirna, T. V. (2017). *Analiz asortymentu ta struktury netkanoho materialu* [Analysis of the range and structure of nonwoven material]. In *Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi* [Scientific developments of youth at the present stage]: Abstracts of the XVI All-Ukrainian Scientific Conference of Young Scientists and Students (Vol. 1, pp. 341–342). Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].
5. Stuart, B., Guan, J., Collins, S., Thomas, P., & Ueland, M. (2024). A preliminary study of non-woven fabrics for forensic identification purposes. *Australian Journal of Forensic Sciences*, *56*(2), 144–153. https://doi.org/10.1080/00450618.2022.2143563.
6. Gosavi, N., Wadsworth, L. C., & Duckett, K. E. (1994). Nonwoven laminates containing cotton for medical applications. *Journal of Coated Fabrics*, *24*(1), 60–76. https://doi.org/10.1177/152808379402400106.
7. Wadsworth, L. C., Balasubramanian, V., & Duckett, K. E. (1993). Thermal bonding of cotton / polypropylene blends. *Nonwovens Industry*, *24*, 44–48. Retrieved from: https://nonwovens-industry.com.
8. Wadsworth, L. C., & Duckett, K. E. (2002). Development of innovative cotton-surfaced nonwovens for medical applications. *Journal of Industrial Textiles*, *31*(3), 167–178. Retrieved from: https://sagepub.com.
9. Sun, C., Zhang, D., Wadsworth, L. C., & McLean, M. (2002). Development of innovative cotton-surfaced nonwoven laminates. *Journal of Industrial Textiles*, *31*(3), 179–188. https://doi.org/10.1106/152808302026111.
10. Duckett, K. E., Wadsworth, L. C., Malhotra, V., & Balasubramanian, V. (1998). *Compostable/biodegradable nonwovens* (U.S. Patent No. 5,783,505). United States Patent and Trademark Office. Retrieved from: https://patents.google.com/patent/US5783505A/en.
11. Wadsworth, L. C. (1997). *Fibrous webs comprising cellulosic and cotton fibers having improved capillary flow* (U.S. Patent No. 5,683,794). United States Patent and Trademark Office. Retrieved from: https://patents.google.com/patent/US5683794A/en.
12. Moylan, J. A., Fitzpatrick, K. T., & Davenport, K. E. (1987). Reducing wound infections: Improved gown and drape barrier performance. *Archives of Surgery*, *122*(2), 152–157. https://doi.org/10.1001/archsurg.1987.01400140034003.
13. Rafikov, A., Mirzayev, N., & Alimkhanova, S. (2022). Multilayer nonwoven lining materials made of wool and cotton for clothing and footwear. *Journal of Industrial Textiles*, *51*(1_suppl), 1381S–1396S. Retrieved from: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/15280837211060881.
14. DSTU EN ISO 9092:2022 (2022). *Netkani materialy. Slovnyk terminiv (EN ISO 9092:2019, IDT; ISO 9092:2019, IDT)* [Nonwovens. Vocabulary (EN ISO 9092:2019, IDT; ISO 9092:2019, IDT)]. DP "UkrNDNTS" [in Ukrainian].
15. Association of the Nonwoven Fabrics Industry. (2026). *INDA Official Website*. Retrieved from: https://www.inda.org/about-nonwovens/.
16. DSTU 2201-93 (1994). *Polotna tekstylni. Vydy, defekty. Terminy ta vyznachennia* [Textile fabrics. Types, defects. Terms and definitions]. Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
17. Karthik, T., Prabha Karan, C., & Rathinamoorthy, R. (2017). *Nonwovens: Process, Structure, Properties and Applications*. Woodhead Publishing India. https://doi.org/10.1201/9781315365022.
18. European Disposables and Nonwovens Association (2026). *EDANA Official Website*. Retrieved from: https://www.edana.org/nw-related-industry/how-are-nonwovens-made.

Iryna Olenych, Nataliia Khomych. Forensic examination of nonwoven materials: technological aspects and algorithmization of diagnostic search

The article highlights the theoretical and practical aspects of using nonwoven materials as an innovative technological solution for various industries, specifically focusing on the medical sector when creating medical-grade materials. The features of their structural design, fiber composition, and key technological stages of production are considered. The history of nonwovens is briefly described, tracing their evolution

from simple homogeneous fibrous structures to Spunbond, Meltblown, and Spunlace technologies, with subsequent development into SMS and SMMS "sandwich panels." Modern scientific research dedicated to manufacturing technologies is analyzed. In particular, it is shown how nonwoven materials are being improved: instead of 100% synthetics, natural or man-made fibers are entering the market in various combinations with synthetic fibers, leading to new technologies for creating and forming composite and combined multilayer structures. This trend contributes to the generation of new characteristics. The main methods of web formation, its mechanical, thermal, and chemical bonding, as well as the features of further finishing, are considered. Based on the analysis of Dry-laid, Wet-laid, Spunbond, Meltblown, and Spunlace technological processes, structured matrices of diagnostic parameters have been developed to optimize the objects' differentiation stage. Special attention is paid to the problem of diagnostic uncertainty resulting from ambiguous characteristics at the stages of web formation, bonding, and finishing. It is shown that an isolated structural feature does not always allow for an unambiguous determination of the method of its formation, since similar characteristics can result from various technological influences. The necessity of a comprehensive assessment of the established features, taking into account the fiber composition, structure, nature of contacts between components, and specific characteristics of the material's technological processing, is substantiated. The proposed methodical approach systematizes the forensic investigation process during research and minimizes the risk of expert errors when evaluating modern nonwoven textile materials.

***Keywords**: nonwoven materials, composite structures, forensic examination, diagnostic features, differentiation, Spunbond, Meltblown, Spunlace.*

Дата першого надходження статті до видання: 08.10.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.11.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 18.11.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу (CC BY 4.0)