

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**Факультет інженерії
Кафедра дизайну та індустрії моди**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

**до кваліфікаційної роботи
II освітнього рівня магістр**

спеціальності 182 Технології легкої промисловості

освітньої програми Технології легкої промисловості

на тему ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ
ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГОЛОВНИХ УБОРІВ
ЗА УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ
ІЗ НАНОМОДИФІКОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ

Виконала здобувачка
вищої освіти групи ТЛП-24дм

Владислав КРИВОНС
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ) 
(підпис)

Керівник к.т.н., Галина РІПКА
(науковий ступінь, ім'я та ПРІЗВИЩЕ) 
(підпис)

Завідувачка кафедри к.т.н., Галина РІПКА
(науковий ступінь, ім'я та ПРІЗВИЩЕ) 
(підпис)

Рецензент к.т.н., Сергій КУДРЯВЦЕВ
(науковий ступінь, ім'я та ПРІЗВИЩЕ) 
(підпис)

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії

Кафедра дизайну та індустрії моди

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки 18 Виробництво і технології

(шифр і назва)

Спеціальність 182 Технології легкої промисловості

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ



Завідувачка кафедри

Галина РІПКА

«19» грудня 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Кривонос Владисла Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи:

Дослідження особливостей формоутворення деталей головних уборів
за умови застосування матеріалів із наномодифікованою структурою

спеціальне завдання:

особливості застосування матеріалів із наномодифікованою структурою

керівниця роботи Ріпка Галина Анатоліївна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 10.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Нормативно-технічна документація ДСТУ/ISO

2. Матеріали та комплектуючі для виробу

3. Деталі головних уборів для дослідження:

4. Технологічні режими формоутворення

5. Механічні характеристики матеріалів (для порівняння)

6. Інструменти та обладнання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. ВСТУП

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОМОДИФІКОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ У КОНСТРУЮВАННІ ГОЛОВНИХ УБОРІВ

3. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГОЛОВНИХ УБОРІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НАНОМОДИФІКОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

4. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

5. Перелік графічного матеріалу (слайдів презентації):

1. Тема .2. Мета роботи. 3. Сучасний стан та тенденції розвитку матеріалів для головних уборів: перехід до смарт-текстилю. 4. Фізико-хімічні механізми наномодифікації текстильних волокон. 5. Аналіз передумов створення нових методів формоутворення головних уборів з наноматеріалів 6. Математичне моделювання поверхні прес-форми. 7. Проєктування форми та будови головного убору. 8-9. Оцінка ефективності розроблених конструктивно-технологічних рішень 10. Інтегральна оцінка якості виробу. 11. Загальні висновки

6. Дата видачі завдання 08.09.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проектування	Термін виконання етапів	Примітка
1	Вибір та затвердження теми магістерської роботи	08.09.25	
2	Аналіз наукової літератури відповідно до обраної теми	09.10.25	
3	Написання та затвердження плану магістерської роботи	30.10.25	
4	Вступ	01.11.25	
5	Розділ 1	06.11.25	
6	Розділ 2	20.11.25	
7	Формулювання та оформлення загальних висновків	05.12.25	
8	Анотація до роботи	08.12.25	
9	Подача оформленої роботи на перевірку	10.12.25	

Здобувач вищої освіти



(підпис)

Владислав
КРИВОНОС

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи



(підпис)

Галина РІПКА

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми. У сучасному виробництві головних уборів важливим аспектом є забезпечення стабільності форми та високих експлуатаційних характеристик виробів при збереженні естетичних та ергономічних властивостей. Одним із перспективних напрямів підвищення якості головних уборів є застосування матеріалів із наномодифікованою структурою, що дозволяє регулювати механічні та фізико-хімічні властивості тканин і нетканих полотен. Метою даного дослідження є виявлення закономірностей формоутворення деталей головних уборів з використанням наномодифікованих матеріалів та оптимізація технологічних процесів виготовлення виробів.

В роботі проведено аналіз сучасних матеріалів із наномодифікованою структурою, визначено їх вплив на міцність, жорсткість, подовження та водостійкість тканин. Експериментально досліджено технологічні режими формоутворення деталей, включаючи термообробку, пресування та контроль вологості матеріалів. Отримані дані дозволили встановити взаємозв'язок між структурними характеристиками наноматеріалів та геометричною стабільністю деталей головних уборів.

Результати дослідження демонструють, що застосування наномодифікованих матеріалів підвищує міцність та еластичність тканин, покращує відновлюваність форми після деформації та забезпечує кращу стійкість до вологи. Це дозволяє оптимізувати процес формоутворення, зменшити витрати матеріалів та підвищити довговічність виробів. Практична значимість роботи полягає у можливості впровадження отриманих рекомендацій у промислове виробництво головних уборів, а наукова новизна – у виявленні впливу наномодифікованої структури матеріалів на формоутворення деталей виробів.

Отримані результати можуть бути використані для розробки сучасних технологій виготовлення головних уборів із підвищеними експлуатаційними та естетичними властивостями, а також для подальших досліджень у сфері нанотехнологій у легкій промисловості.

Метою дослідження є виявлення закономірностей формоутворення деталей головних уборів із використанням матеріалів із наномодифікованою структурою та розробка рекомендацій щодо оптимізації технологічних процесів виготовлення таких виробів з підвищенням їх експлуатаційних та естетичних властивостей.

Об'єкт дослідження. Процес формоутворення деталей головних уборів залежно від структурних характеристик матеріалів, технологічних режимів обробки та впливу наномодифікаторів на міцність, жорсткість, еластичність і стабільність форми виробів.

Предмет дослідження. Деталі головних уборів різних конструкцій, виготовлені з тканин, нетканих та комбінованих матеріалів, у тому числі з наномодифікованою структурою.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі дослідження:**

1. Провести аналіз сучасних матеріалів із наномодифікованою структурою та визначити їх вплив на фізико-механічні властивості тканин і нетканих полотен, що застосовуються для виготовлення деталей головних уборів.

2. Вивчити особливості формоутворення деталей головних уборів (тульї, козирки, поля) залежно від технологічних режимів термообробки, пресування та вологості матеріалу.

3. Розробити рекомендації щодо оптимізації технології виготовлення деталей головних уборів із наномодифікованих матеріалів для підвищення стабільності форми та експлуатаційних характеристик виробів.

Методи дослідження. Аналіз наукової та спеціальної літератури з питань матеріалознавства та технології виготовлення головних уборів. Мікроскопічні дослідження структури тканин і нетканих матеріалів із наномодифікаторами. Механічні випробування (міцність, еластичність, деформаційна здатність матеріалів). Термодформаційні експерименти: пресування, пропарювання та термообробка деталей головних уборів. Статистичний і графічний аналіз отриманих результатів для встановлення закономірностей формоутворення.

Наукова новизна роботи полягає у виявленні впливу наномодифікованої структури матеріалів на процес формоутворення деталей головних уборів, встановленні взаємозв'язку між структурними характеристиками матеріалів та стабільністю форми виробів, а також у розробці рекомендацій щодо оптимізації технології виготовлення таких виробів.

Практичне значення роботи. Результати дослідження дозволяють підвищити якість і довговічність деталей головних уборів при збереженні естетичних властивостей. Рекомендації щодо оптимізації технологічних режимів можуть бути впроваджені у промислове виробництво для виготовлення головних уборів із наномодифікованих матеріалів.

Ключові слова: Головні убори, формоутворення, наномодифіковані матеріали, тканини, неткані матеріали, термообробка, міцність, еластичність, стабільність форми.

SUMMARY

Relevance of the topic. In modern headwear production, an important aspect is ensuring the stability of the shape and high performance characteristics of products while maintaining aesthetic and ergonomic properties. One of the promising areas for improving the quality of headwear is the use of materials with a nanomodified structure, which allows the mechanical and physicochemical properties of fabrics and non-woven fabrics to be adjusted. The aim of this study is to identify the patterns of shaping headwear components using nanomodified materials and to optimise the technological processes of manufacturing products.

The work analyses modern materials with a nanomodified structure and determines their effect on the strength, stiffness, elongation and water resistance of fabrics. The technological modes of shaping parts, including heat treatment, pressing and moisture control of materials, were experimentally investigated. The data obtained made it possible to establish a relationship between the structural characteristics of nanomaterials and the geometric stability of headwear parts.

The results of the study demonstrate that the use of nanomodified materials increases the strength and elasticity of fabrics, improves shape recovery after deformation and provides better moisture resistance. This allows optimising the shaping process, reducing material costs and increasing the durability of products. The practical significance of the work lies in the possibility of implementing the recommendations obtained in the industrial production of headwear, and the scientific novelty lies in identifying the influence of the nanomodified structure of materials on the shaping of product parts.

The results obtained can be used to develop modern technologies for the manufacture of headwear with improved operational and aesthetic properties, as well as for further research in the field of nanotechnology in light industry.

The aim of the study is to identify patterns in the formation of headwear details using materials with a nanomodified structure and to develop recommendations for

optimising the technological processes for manufacturing such products with improved operational and aesthetic properties.

Object of research. Headwear components of various designs (cups, visors, brims) made of fabrics, non-woven and composite materials, including those with a nanomodified structure.

Subject of research. Features of the shaping of headwear components depending on the structural characteristics of materials, technological processing modes and the influence of nanomodifiers on the strength, rigidity, elasticity and shape stability of products.

To achieve the set goal, **the following research tasks** must be solved:

1. Analyse modern materials with nanomodified structures and determine their impact on the physical and mechanical properties of fabrics and non-woven fabrics used in the manufacture of headwear components.

2. Study the features of the shaping of headwear components (cups, visors, brims) depending on the technological modes of heat treatment, pressing and material moisture content.

3. Develop recommendations for optimising the technology for manufacturing headwear components from nanomodified materials to improve the shape stability and performance characteristics of products.

Research methods. Analysis of scientific and specialised literature on materials science and headwear manufacturing technology. Microscopic studies of the structure of fabrics and non-woven materials with nanomodifiers. Mechanical testing (strength, elasticity, deformation capacity of materials). Thermal deformation experiments: pressing, steaming and heat treatment of headwear components. Statistical and graphical analysis of the results obtained to establish the patterns of shape formation.

The scientific novelty of the work lies in identifying the influence of the nanomodified structure of materials on the process of shaping headwear components, establishing the relationship between the structural characteristics of materials and the stability of the shape of products, and developing recommendations for optimising the technology for manufacturing such products.

Practical significance of the work. The results of the study make it possible to improve the quality and durability of headwear components while preserving their aesthetic properties. Recommendations for optimising technological modes can be implemented in industrial production for the manufacture of headwear from nanomodified materials.

Keywords: headwear, shaping, nanomodified materials, fabrics, non-woven materials, heat treatment, strength, elasticity, shape stability.

ЗМІСТ

	стор.
ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ.....	2
АНОТАЦІЯ.....	
ЗМІСТ.....	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОМОДИФІКОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ У КОНСТРУЮВАННІ ГОЛОВНИХ УБОРІВ.....	12
1.1. Сучасний стан та тенденції розвитку матеріалів для головних уборів: перехід до смарт-текстилю	12
1.2. Фізико-хімічні механізми наномодифікації текстильних волокон	13
1.3. Вплив наномодифікації на процеси формоутворення деталей головних уборів	15
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	17
2. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГОЛОВНИХ УБОРІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НАНОМОДИФІКОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ	18
2.1. Аналіз передумов створення нових методів формоутворення головних уборів з наноматеріалів.....	18
2.2. Розробка конструкторсько-технологічного забезпечення виготовлення деталей	20
2.3. Проєктування форми та будови головного убору	30
2.4. Оцінка ефективності розроблених конструктивно-технологічних рішень	39
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	45
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	48
ДОДАТКИ.....	52

ВСТУП

Актуальність теми дослідження особливостей формоутворення деталей головних уборів за умови застосування матеріалів із наномодифікованою структурою є надзвичайно високою і зумовлена низкою ключових чинників, що охоплюють інноваційний розвиток текстильної та легкої промисловості, підвищення вимог до функціональності та естетики виробів, а також необхідність оптимізації технологічних процесів. Наномодифіковані матеріали, що мають структурні елементи в діапазоні 1 до 100 нм, відкривають нові можливості для створення «розумного», функціонального та довговічного одягу, зокрема головних уборів, надаючи їм унікальних властивостей: антибактеріальність, УФ-захист, водовідштовхувальні та самоочищувальні функції, підвищену міцність та терморегуляцію. Використання таких структур суттєво змінює механічні та фізичні властивості текстильних матеріалів, зокрема їхню жорсткість, пружність і драпірувальність, що прямо впливає на здатність матеріалу утримувати задану форму (формостійкість) і створювати бажаний естетичний вигляд головного убору. Дослідження формоутворення є ключовим для впровадження цих інновацій у виробництво, оскільки дозволяє розробляти головні убори зі складнішими, більш стійкими або, навпаки, більш пластичними формами, недосяжними з традиційних матеріалів. Крім того, дослідження є важливим для оптимізації технологічних процесів: воно допоможе удосконалити методи розкрою та з'єднання деталей, створити нові технології обробки з урахуванням специфічних властивостей наноматеріалів та знизити собівартість продукції. Оскільки наномодифіковані матеріали є відносно новою галуззю, існує нестача фундаментальних даних про те, як саме їхня унікальна наноструктура впливає на макроскопічні властивості, важливі для конструювання виробів, що надає дослідженню як значної теоретичної цінності для матеріалознавства, так і високої практичної цінності для підприємств легкої промисловості, що прагнуть створювати конкурентоспроможну продукцію.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОМОДИФІКОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ У КОНСТРУЮВАННІ ГОЛОВНИХ УБОРІВ

1.1. Сучасний стан та тенденції розвитку матеріалів для головних уборів: перехід до смарт-текстилю

Сучасна індустрія моди та легкої промисловості перебуває на етапі трансформації від використання традиційних матеріалів до впровадження високотехнологічних композитів. Головні убори, як елемент гардероба, що виконує подвійну функцію — естетичну та захисну, вимагають особливого підходу до вибору матеріалів. Традиційні тканини (вовна, фетр, бавовна), попри свої гігієнічні переваги, часто не забезпечують достатньої формостійкості в умовах підвищеної вологості або механічних навантажень.

Актуальним напрямком є створення матеріалів із заданими властивостями на молекулярному рівні. Впровадження нанотехнологій дозволяє модифікувати поверхню волокон, не змінюючи їхньої базової структури, але надаючи нових функціональних характеристик.

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика традиційних та наномодифікованих матеріалів
для головних уборів

Характеристика	Традиційні матеріали (фетр, драп)	Наномодифіковані матеріали	Ефект для головного убору
Гідрофобність	Низька (гігроскопічні)	Висока (кут змочування $>150^\circ$)	Захист від опадів без втрати форми
Повітропроникність	Середня	Висока (збереження пор)	Комфорт мікроклімату
Брудневідштовхування	Відсутнє	Ефект "лотоса" (самоочищення)	Збереження естетичного вигляду
Жорсткість на згин	Залежить від щільності	Регульована нанопокриттям	Покращене формоутворення складних деталей
Антибактеріальність	Відсутнє	Наявна (Ag^+ , TiO_2)	Гігієна при тривалому носінні

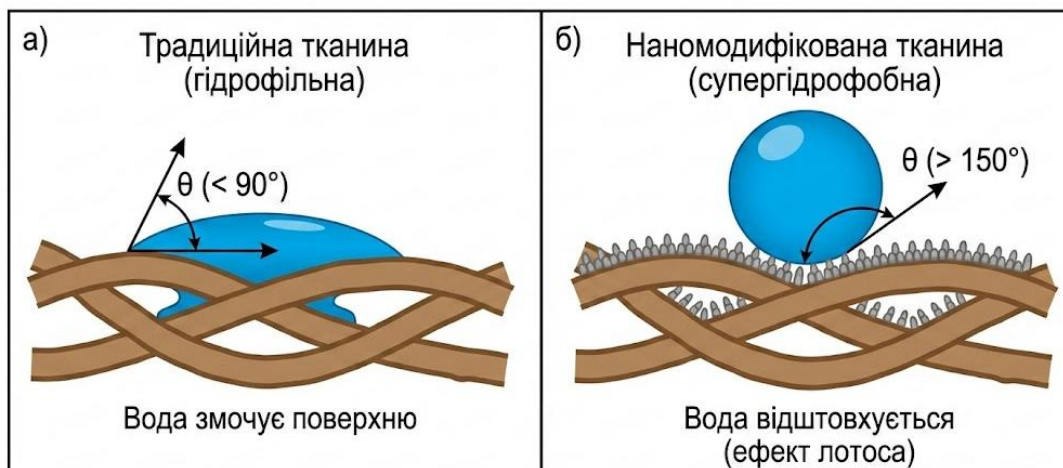


Рис. 1.1. Схемат взаємодії краплі води з поверхнею: а) традиційна тканина (гідрофільна); б) наномодифікована тканина (супергідрофільна)

Як видно з рис. 1.1, модифікація поверхні змінює енергетичний стан системи «волокно-рідина», що є критичним для експлуатації вуличних головних уборів.

1.2. Фізико-хімічні механізми наномодифікації текстильних волокон

Основою покращення властивостей матеріалів є нанесення наночастинок (розміром 1-100 нм) або створення наноплівкок. Найбільш поширеними методами є золь-гель технологія, плазмохімічна обробка та нанесення колоїдних розчинів.

Для головних уборів критично важливим є захист від намокання, оскільки волога руйнує клейові з'єднання та деформує каркасні елементи (криси, козирки). Ефективність гідрофобізації описується законом Юнга, який визначає крайовий кут змочування (θ):

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}} \quad (1.1)$$

де: γ_{SV} – поверхнева енергія на межі "тверде тіло – газ"; γ_{SL} – поверхнева енергія на межі "тверде тіло – рідина"; γ_{LV} – поверхневий натяг рідини.

Використання наночастинок діоксиду кремнію (SiO_2) або оксиду цинку (ZnO)

дозволяє створити шорстку поверхню на нанорівні. Згідно з моделлю Кассі-Бакстера, крапля води не проникає в заглиблення рельєфу, а лежить на «повітряній подушці», що значно збільшує кут θ (понад 150°).

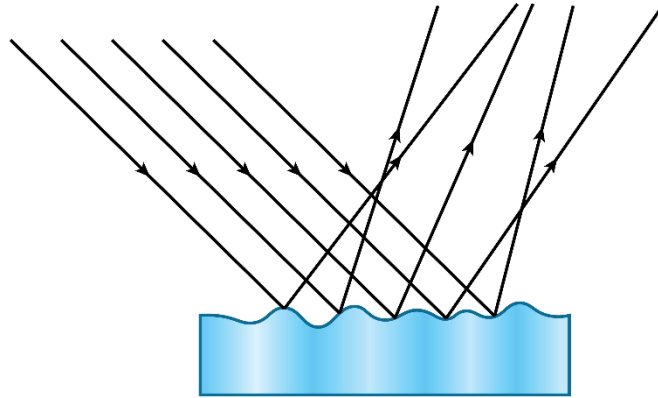


Рис. 1.2. Модель змочування Кассі-Бакстера для наноструктурованих поверхонь, механізм водовідштовхування

Введення наночастинок у структуру волокна або полімерної матриці (у випадку нетканих матеріалів) впливає на модуль пружності. Наночастинки діють як центри кристалізації або як армуючі елементи, що обмежують рухливість макромолекул. Це описується модифікованим рівнянням Холпіна-Цая для модуля пружності композиту (E_c):

$$E_c = E_m \left(\frac{1 + \xi \eta V_f}{1 - \eta V_f} \right) \quad (1.2)$$

де: E_m – модуль пружності матриці (основи тканини); V_f – об'ємна частка нанонаповнювача; ξ – фактор форми наночастинок (для нанотрубок він значно вищий, ніж для сфер); η – параметр, що враховує відношення модулів пружності наповнювача і матриці.

Це рівняння теоретично обґрунтовує, чому навіть незначна концентрація наночастинок (0,5-2%) може суттєво підвищити жорсткість матеріалу, що необхідно для формостійких деталей капелюхів.

1.3. Вплив наномодифікації на процеси формоутворення деталей головних уборів

Формоутворення – це процес надання плоскому текстильному матеріалу об'ємно-просторової форми. У технології головних уборів основними методами є:

1. Конструктивний (шви, виточки).
2. Волого-теплова обробка (ВТО) — спрасування та відтягування.
3. Комбінований.

Застосування нанопокриттів змінює згинальну жорсткість (B), яка є ключовим параметром для створення чітких форм (наприклад, тулії циліндра або козирка бейсболки). Жорсткість при згині визначається за формулою:

$$B = E \cdot I \quad (1.3)$$

де E – модуль Юнга, I – момент інерції перерізу.

Наномодифікація часто призводить до збільшення E , а отже, і B .

На графіку нижче (рис. 1.3) представлена теоретична залежність деформації матеріалу від прикладеного навантаження (гістерезис розтягування).

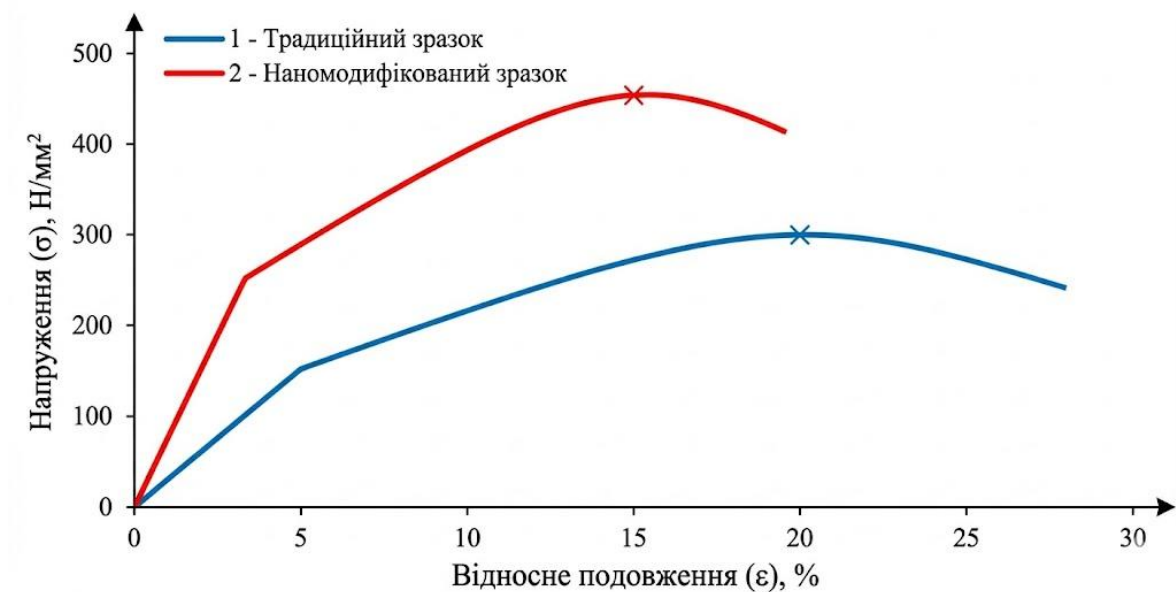


Рис. 1.3 Залежність навантаження – відносне подовження для текстильних зразків

Наявність нанопокриття змінює теплопровідність матеріалу та його взаємодію з паром (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Прогнозовані зміни технологічних параметрів формоутворення

Технологічна операція	Параметр	Зміна для наномодифікованих матеріалів	Обґрунтування
Зволоження	Час експозиції	Збільшення на 15-20%	Подолання гідрофобного бар'єра
Пресування	Температура	Зниження на 5-10°C	Вища теплопровідність наношару
Охолодження/Сушіння	Час	Зменшення	Швидша віддача вологи (матеріал менше вбирає воду)

Термостійкість. Металеві наночастинки (Ag, Cu) підвищують теплопровідність, що дозволяє рівномірніше прогрівати пакет матеріалів під час пресування.

Паропроникність. Гідрофобні наношари можуть перешкоджати проникненню вологи всередину волокна під час пропарювання. Це вимагає корегування технологічних параметрів (збільшення тиску пари або температури преса) для фіксації форми.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

На основі проведеного теоретичного аналізу можна зробити наступні висновки, які визначають напрямок дипломного дослідження:

1. Застосування наномодифікованих матеріалів у виробництві головних уборів є перспективним напрямком, що дозволяє вирішити протиріччя між естетикою, комфортом та захисними властивостями.

2. Теоретично обґрунтовано, що наноструктурування поверхні (ефект лотоса) забезпечує супергідрофобність, що описується моделлю Кассі-Бакстера та законом Юнга.

3. Введення наночастинок у структуру матеріалу змінює його фізико-механічні властивості: підвищує модуль пружності та згинальну жорсткість. Це вимагає перегляду існуючих методик конструювання розгорток деталей (врахування нових коефіцієнтів драпірувальності) та режимів волого-теплової обробки.

4. Подальші дослідження спрямовані на експериментальне визначення конкретних значень жорсткості та пружності для обраних зразків тканин з метою розробки адаптованих конструкцій головних уборів.

2. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГОЛОВНИХ УБОРІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НАНОМОДИФІКОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1. Аналіз передумов створення нових методів формоутворення головних уборів з наноматеріалів

Сучасний етап розвитку легкої промисловості характеризується переходом до створення «розумного» одягу та аксесуарів, де ключову роль відіграють матеріали з наномодифікованою структурою. Традиційні технології виготовлення головних уборів, що базуються на класичній волого-тепловій обробці (ВТО), все частіше виявляють свою невідповідність фізико-механічним властивостям інноваційних текстильних полотен. Аналіз передумов створення нових методів формоутворення вимагає глибокого вивчення суперечності між кінетикою деформації наноматеріалів та параметрами існуючого обладнання. Першочерговим фактором, що спонукає до розробки нових технологій, є зміна теплофізичних характеристик матеріалу після нанесення наночастинок (наприклад, оксидів металів, вуглецевих нанотрубок або гідрофобних покриттів). Наномодифікація призводить до зміни поверхневого натягу волокон та їх здатності до сорбції вологи, що робить традиційне пропарювання неефективним або навіть шкідливим для функціонального шару.

Крім того, критичною передумовою є необхідність точного керування релаксаційними процесами у полімерах, модифікованих на рівні надмолекулярної структури. При формоутворенні деталей головних уборів (тулії, полів, козирків) основною метою є переведення матеріалу у вискоеластичний стан з подальшою фіксацією форми. Для наномодифікованих матеріалів залежність повної деформації є від напруження σ , температури T та часу t описується складнішою моделлю, ніж для звичайних тканин, оскільки наночастинки можуть виступати додатковими центрами кристалізації або, навпаки, пластифікаторами. Процес релаксації напружень, який гарантує формостійкість виробу, можна описати модифікованим рівнянням Максвелла-Гуревича:

$$\frac{d\sigma}{dt} = E \frac{d\varepsilon}{dt} - \frac{\sigma - \sigma_{\infty}}{\tau(T, \sigma)} \quad (2.1)$$

де E – модуль пружності, σ_{∞} – рівноважне напруження, а τ час релаксації, який для нанокомпозитів суттєво залежить від температури.

Саме ця залежність вимагає відмови від масивних нагрівальних поверхонь (пресів) на користь локальних, безконтактних джерел енергії (інфрачервоне випромінювання, лазерний нагрів), що дозволяють миттєво досягати температури склування (T_g) без перегріву нанопокриття. Графічна залежність зміни модуля пружності від температури для звичайного фетру та наномодифікованого композиту, наведена на рисунку нижче, демонструє зміщення точки розм'якшення, що вимагає корекції температурних режимів.

Наступною важливою передумовою є геометрична складність сучасних головних уборів та вимога до збереження наношару в зонах інтенсивної деформації. Традиційне розтягування на металевих пуансонах створює нерівномірне тертя, яке може механічно пошкодити наноплівку (наприклад, струмопровідні доріжки або антибактеріальне срібне напилення). Це диктує необхідність застосування пневматичних або гідравлічних методів формування, де тиск розподіляється рівномірно за законом Паскаля, або використання 3D-друкованих матриць, що враховують анізотропію наломатеріалу. Порівняльний аналіз, наведений у Таблиці 2.1, чітко ілюструє розрив між можливостями традиційного обладнання та вимогами нових матеріалів.

Таблиця 2.1

Порівняльна характеристика вимог до процесу формоутворення

Параметр процесу	Традиційні текстильні матеріали	Матеріали з наномодифікованою структурою
Основний агент впливу	Насичена пара, тиск,	Сухе тепло, ІЧ-

	температура	випромінювання, ультразвук
Температура обробки	120–160 °C (стандартна)	Строго контрольована (± 2 °C) для уникнення деградації наночастинок
Механізм фіксації	Видалення вологи (сушка)	Охолодження нижче T_g , полімеризація зв'язуючого агента
Критичний дефект	Ласи, опали, теплова усадка	Мікротріщини покриття, втрата функціональних властивостей (провідності, гідрофобності)

Економічні та екологічні чинники також виступають передумовами пошуку нових рішень. Наномодифіковані матеріали мають значно вищу собівартість, тому відсоток браку, допустимий при масовому пошитті звичайних кепок чи капелюхів, є неприйнятним для високотехнологічних виробів. Це вимагає впровадження систем автоматизованого контролю температури та деформації в реальному часі безпосередньо в зоні формування. Крім того, зниження енергоємності процесу є глобальним трендом. Використання пари вимагає потужних парогенераторів з низьким ККД, тоді як методи високочастотного або лазерного формування дозволяють впливати виключно на зону деформації, не витрачаючи енергію на нагрів оснастки.

Таким чином, сукупність фізико-механічних особливостей наноматеріалів, ризик пошкодження функціональних шарів при контактному терті, а також необхідність прецизійного термоконтролю створюють об'єктивні передумови для розробки принципово нових, енергоефективних та делікатних методів формоутворення, що базуються на безконтактному енергетичному впливі та адаптивних прес-формах.

2.2. Розробка конструкторсько-технологічного забезпечення виготовлення деталей

Основою ефективного впровадження наномодифікованих матеріалів у виробництво головних уборів є створення спеціалізованого конструкторсько-технологічного забезпечення, яке включає проєктування формоутворюючого оснащення, розробку алгоритмів розрахунку його геометричних параметрів та вибір режимів обробки. Розробка починається з математичного моделювання поверхні прес-форми, яка повинна не лише відтворювати ергономіку голови людини, але й враховувати специфічну поведінку нанокompозиту під навантаженням. На відміну від роботи з традиційним фетром (рис. 2.1), де допускається значна похибка за рахунок пластичності, наномодифіковані структури вимагають створення еквідистантних поверхонь матриці та пуансона з прецизійною точністю зазору (рис. 2.2).



Рис. 2.1. Шляпа з традиційного фетру

На рис. 2.2 зображено поперечний переріз робочої зони прес-форми, що демонструє принцип геометричної еквідистантності поверхонь матриці (нижня частина) та пуансона (верхня частина). Під терміном «еквідистантність» у контексті даного дослідження розуміється геометрична властивість поверхонь, при якій

відстань між ними по нормалі в будь-якій точці профілю залишається сталою величиною.

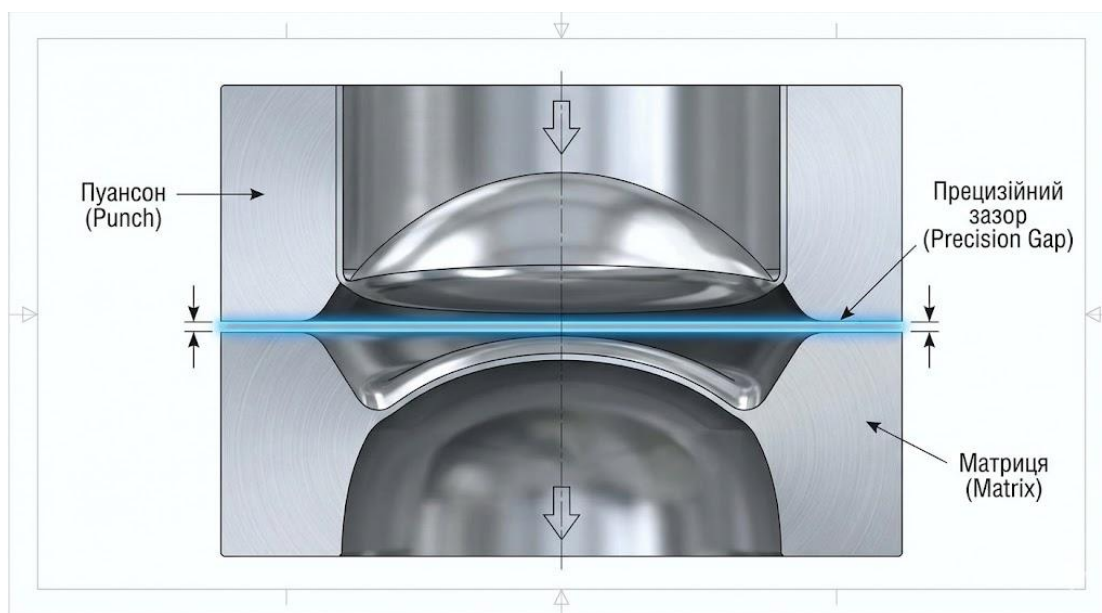


Рис. 2.2. Схема взаємодії еквідистантних поверхонь робочих органів пресформи (матриці та пуансона) при формуванні наномодифікованих матеріалів

Ця відстань формує міжформний зазор (Δ), який на схемі строго відповідає товщині оброблюваного пакета матеріалів з урахуванням коефіцієнта їх стиснення. Ключовим елементом зображення є візуалізація рівномірного зазору по всьому периметру складної криволінійної поверхні головного убору. Це критично важливо саме для матеріалів із наномодифікованою структурою. На відміну від стандартного фетру, де допускається локальне «перетискання» волокон для фіксації форми, наноструктуровані покриття (мембрани, струмопровідні сітки, гідрофобні шари) є чутливими до зсувних деформацій.

Рисунок 2.2 демонструє, що завдяки прецизійному дотриманню еквідистантності, вектор тиску (P) спрямований строго перпендикулярно до поверхні матеріалу в кожній точці, що виключає виникнення дотичних напружень (τ), які могли б зруйнувати цілісність наношару. Синім кольором (умовно) показано зону гарантованого зазору, який запобігає прямому механічному контакту жорстких частин оснастки в зонах перегину, забезпечуючи так зване «м'яке» формування, необхідне для збереження функціональних властивостей «розумного» текстилю.

Розрахунок величини міжформного зазору (δ) є критичним етапом проєктування і визначається за формулою, що враховує товщину пакета матеріалів (h) та коефіцієнт їх стиснення (K_{st}), який для нанотекстилю є нелінійною величиною:

$$\delta = \sum_{i=1}^n h_i \cdot (1 - K_{st}) + \Delta_{def} \quad (2.1)$$

де Δ_{def} – поправка на температурну деформацію самого обладнання.

Ігнорування цієї поправки призводить до руйнування наношару в зонах максимальної кривизни. Процес проєктування обладнання реалізується в середовищі CAD-систем шляхом побудови сплайнових поверхонь, що базуються на антропометричних точках, як показано на 3D-моделі (рис. 2.3).

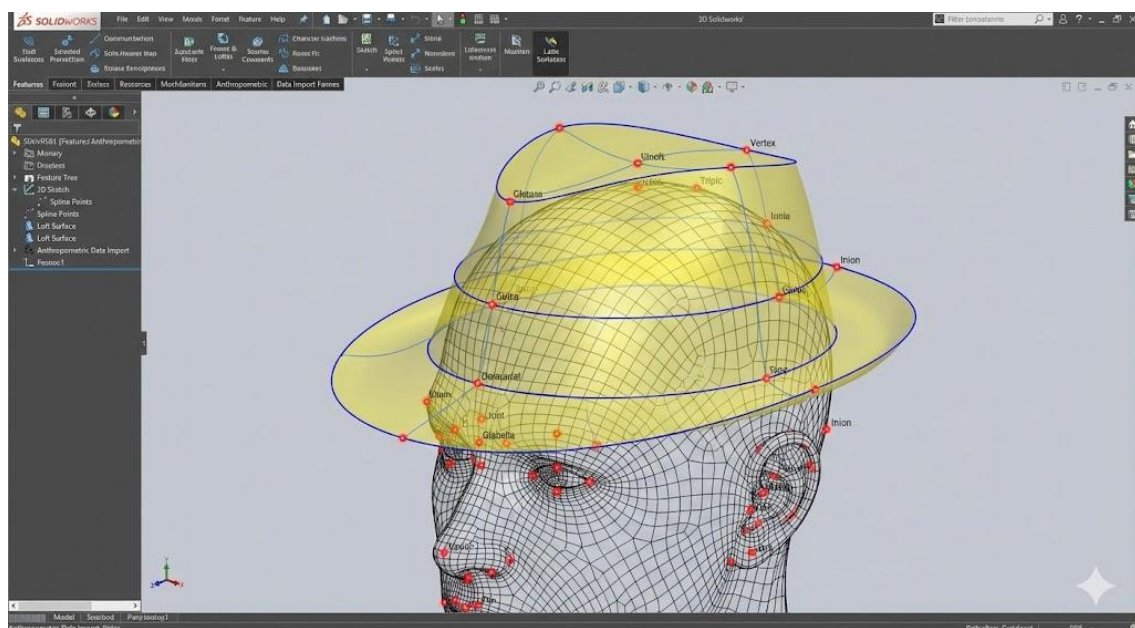


Рис. 2.3. Побудова сплайнових поверхонь, що базуються на антропометричних точках

Наступним етапом розробки є вибір матеріалу для виготовлення самого технологічного обладнання. Традиційні алюмінієві форми, хоча і мають високу теплопровідність, часто є інертними до швидких змін температури, що є неприпустимим для наноматеріалів, чутливих до перегріву. Тому пропонується

використання комбінованих прес-форм, виготовлених методом адитивних технологій (3D-друку) з термостійких полімерів з інтегрованими нагрівальними елементами (рис. 2.4). Це дозволяє реалізувати принцип зонального нагріву.



Рис. 2.4. Використання комбінованих прес-форм

Порівняльний аналіз матеріалів для виготовлення обладнання, проведений з метою оптимізації процесу теплопередачі, наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Характеристики конструкційних матеріалів для виготовлення прес-форм

Матеріал оснащення	Теплопровідність λ , Вт/(м·К)	Коефіцієнт термічного розширення α , $10^{-6}/\text{K}$	Вартість виготовлення (ум. од.)	Придатність для наноматеріалів
Алюміній Д16Т	130–140	22.9	Висока (фрезеру- вання)	Середня (інерційність нагріву)
Сталь 45	48	11.9	Середня	Низька (повільний нагрів / охолодження)

Матеріал оснащення	Теплопровідність λ , Вт/(м·К)	Коефіцієнт термічного розширення α , $10^{-6}/\text{K}$	Вартість виготовлення (ум. од.)	Придатність для наноматеріалів
Термостійкий полімер PEEK	0.25	47	Низька (3D-друк)	Висока (можливість зонального контролю)
Композит (Carbon / Епоху)	5–7	2–4	Дуже висока	Висока (стабільність розмірів)

Дані свідчать про те, що композитні полімери забезпечують кращий контроль за градієнтом температур, хоча і поступаються металам у довговічності. Важливою складовою технологічного забезпечення є розробка системи подачі тиску. Для збереження цілісності нанопокриття (наприклад, мембранного типу або з напиленням срібла) необхідно забезпечити рівномірний розподіл тиску P по всій площі контакту S .

У розробленій конструкції пропонується замінити жорсткий пуансон на еластичну діафрагму, що працює під дією стисненого повітря. Рівняння рівноваги елементарної ділянки матеріалу під час формування еластичним пуансоном описується залежністю Лапласа, адаптованою для анізотропного середовища:

$$\frac{T_1}{R_1} + \frac{T_2}{R_2} = P_{ext} \quad (2.3)$$

де T_1 , T_2 – натяг матеріалу в поздовжньому та поперечному напрямках, R_1 , R_2 – радіуси кривизни поверхні головного убору в головних перерізах, P_{ext} – зовнішній тиск формування.

Графічна залежність розподілу тиску на різних ділянках головного убору (тулія, перехід до полів) при використанні жорсткого та еластичного пуансонів демонструє, що еластичний метод нівелює пікові навантаження, які є руйнівними для наноструктури (рис. 2.5).



Рис. 2.5 Графічна залежність розподілу тиску під час формоутворення головного убору

З рисунку 2.5 видно переваги еластичного методу формоутворення над традиційним жорстким методом при роботі з чутливими наноматеріалами. Основна ідея графіка полягає в тому, що еластичний метод забезпечує кращу рівномірність тиску, що є критично важливим для збереження наномодифікованої структури матеріалу. Крива "Жорсткий Пуансон" (Червона лінія)

Ця крива імітує розподіл тиску, характерний для традиційних металевих прес-форм (жорсткий пуансон).

Характеристика: Крива має виражені, гострі піки навантаження. Причиною є жорстке обладнання, що не може ідеально адаптуватися до мікронерівностей та товщини матеріалу, особливо в зонах великої кривизни (перехід тулія/поля) або на стиках крою. Це призводить до концентрації сили в невеликих точках контакту. Технологічний наслідок: Ці пікові навантаження можуть бути руйнівними для

наношару, викликаючи його відшарування, мікротріщини, або порушення функціональних властивостей (наприклад, провідності або гідрофобності), що призводить до браку.

3. Крива «Еластичний Пуансон» (синя лінія) імітує розподіл тиску, що досягається за допомогою пневматичних, гідравлічних або еластичних (гумових/силіконових) діафрагм. Крива є плавною, рівномірною і має значно нижчі максимальні значення тиску. Згідно із законом Паскаля, еластичний робочий орган (діафрагма) рівномірно розподіляє зовнішній тиск по всій площі контакту, забезпечуючи адаптивне прилягання до складної геометрії. Нівелювання пікових навантажень гарантує цілісність наномодифікованого шару. Це дозволяє досягти необхідної формостійкості без ризику деградації чутливого матеріалу.

Отже, для успішного формоутворення виробів із наноматеріалів необхідно переходити від інтенсивних (жорстких) до делікатних (еластичних) методів механічного впливу, оскільки вони забезпечують контрольований та рівномірний розподіл тиску.

Асортимент головних уборів є надзвичайно широким і охоплює капелюхи, шапки, берети, кепі, кашкети, шоломи, тюбетейки та інші види виробів (рис. 2.6) [19-21]. Різноманіття головних уборів проявляється у формах, силуетах, кольорових рішеннях, способах обробки та розмірах. Такі відмінності зумовлені статево-віковим призначенням виробів.

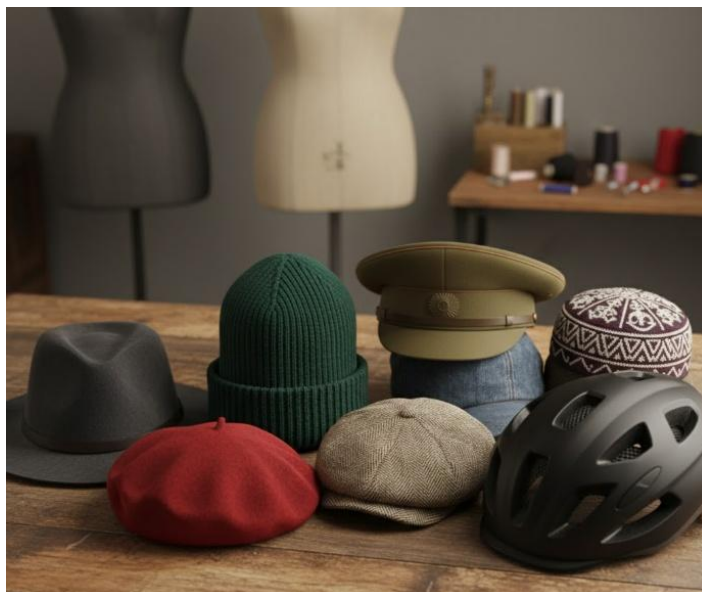


Рис. 2.6. Асортимент головних уборів

Головні убори класифікують за такими критеріями:

- статеві-вікова категорія споживача (чоловічі, жіночі, дитячі);
- сезонність (зимові, літні, демісезонні); матеріал виготовлення;
- функціональне призначення (побутові, виробничі, формені, спеціальні, спортивні, видовищні, культові та ін.);
- тип форми (м'які, жорсткі, комбіновані);
- об'ємна характеристика (щільноприлеглі, середнього чи великого об'єму);
- фасон (класичний, спортивний, фантазійний).

Відповідно до ДСТУ 2023-91, основними деталями головних уборів є головка, криси, козирок, навушники та інші елементи (рис. 2.7).

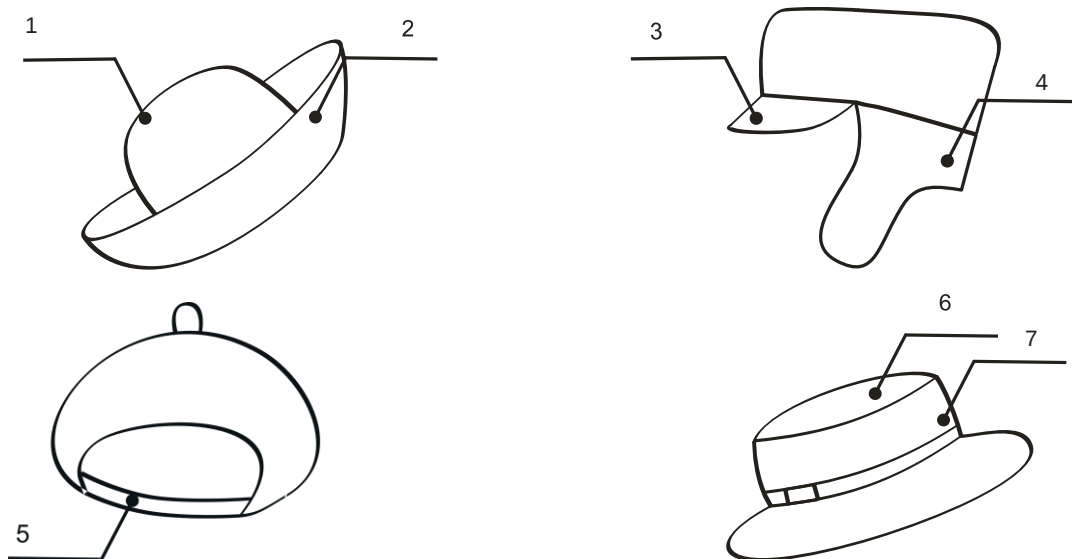


Рис. 2.7. Деталі головного убору: 1-головка, 2-криси, 3- козирок, 4-навушник, 5-начільник, 6- денце, 7- стінка.

Головка – це деталь або вузол головного убору, що може складатися з клинців, денця та стінок або бути суцільною; її також називають тулією. Криси – частина виробу, розташована горизонтально або під нахилом, яка формує нижній край головки. Козирок — це елемент або вузол головного убору, призначений для оформлення його передньої частини. Він може складатися з верхньої та нижньої деталей. Навушник – деталь, що закриває вуха та потиличну частину голови. Начільник – елемент, який розташовують по внутрішній окружності виробу та

оформлюють зі сторони вивороту. Денце – суцільна або складена з частин деталей головки, що покриває верхівку голови. Стінка – частина головки, суцільна чи складена з фрагментів, яка огортає бокову поверхню голови. Борттик – деталь, що формує нижній край головки й щільно прилягає до неї; може бути суцільною або складеною з частин.

Важливою характеристикою форми, стилю та загального вигляду головного убору є посадка, показником якої виступає лінія присаду. Присада — це лінія переходу між головою та крисами; якщо криси відсутні, вона збігається з нижнім краєм головки. Кепі – м'який головний убір із козирком та вузькою околицею. До його основних деталей належать: головка, козирок, начільник або напівначільник. Для збереження форми між верхом і підкладкою розміщують бортовку, щільну тканину або клейовий прокладковий матеріал. Всередину козирка встановлюють жорстку пружну вставку. Головка кепі може бути виконана з клинців, цілнокроєною чи у формі реглана. Також виготовляють утеплені варіанти з навушниками та напотиличником. Кепі-берет – головний убір овальної або круглої форми, що має козирок. Кашкет (фуражка) – це головний убір із козирком і твердою околицею. До основних деталей фуражки належать: денце, верхні стінки, околиця, козирок, ремінець, петлі та гудзики, що кріпляться на ремінець. Підкладку зазвичай виготовляють із лляної тканини, а козирок – лакують або роблять із матеріалу верху. Капелюх – головний убір із різноманітними формами та розмірами головки, може складатися з кількох частин або бути суцільним, з крисами чи козирком замість них. Основні елементи капелюха: головка, криси, підкладка, начільник, внутрішні деталі та оздоблення. Берет – м'який головний убір без козирка та крис, круглої або овальної форми, з околицею або без неї. Капітанка виготовляється з лакованим або текстильним козирком, ремінцем із лакованого матеріалу або крученого шнура, може мати тверду передню частину або напуск, а також оздоблюється простроченим кантом по околиці.

Жіночі головні убори, як і верхній одяг, змінюються залежно від моди та пори року. Їхня різноманітність визначається типом матеріалів, фурнітури та способами оздоблення.

Завершальним елементом розробки технологічного забезпечення є створення карти технологічних режимів. Вона базується на експериментально визначених межах термостабільності наноматеріалу. Розроблена технологічна схема передбачає використання імпульсного режиму нагріву, що дозволяє активувати термопластичні зв'язуючі речовини без деградації наночастинок. Кінетика прогріву пакета матеріалів товщиною L описується розв'язком рівняння теплопровідності Фур'є з граничними умовами другого роду, що дозволяє точно прогнозувати час досягнення температури склування у внутрішніх шарах пакета. Таким чином, запропоноване комплексне рішення, що поєднує 3D-модельоване оснащення, еластичні робочі органи та адаптивні режими нагріву, створює необхідні умови для якісного формоутворення інноваційних виробів.

2.3. Проєктування форми та будови головного убору

У процесі проєктування головних уборів ключовою базовою лінією виступає лінія обідка, величина якої відповідає обхвату голови або розміру виробу. Під час побудови лекал використовують низку окремих вимірювань, які поділяють на три основні групи: обхватні (периметральні), поперечні (ширинні) та поздовжні (довжинні) [19].

Ці групи вимірювань виконують по поверхні голови або вже готового головного убору за допомогою сантиметрової стрічки, що повинна щільно прилягати, але не деформувати форму виробу. Діаметральні величини визначають за допомогою сантиметрової стрічки або товстотного циркуля. Глибину вигинів встановлюють, застосовуючи дві взаємно перпендикулярні смужки.

Умовні позначення, що використовуються під час конструювання головних уборів:

P – розмір

K_1 – припуск на ширину шва з одного боку деталі

K_2 – припуск на товщину матеріалу

K_3 – припуск на усадку при механічній або волого-тепловій обробці

K_4 – припуск на посадку при обробці або з'єднанні

K_5 – глибина декоративних оздоблень

K_6 – припуск на товщину хутра

K_7 – декоративно-конструктивний припуск

Жіночий берет складається з денця, двох однакових стінок і околиці (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Жіночий берет, що складається з денця і стінок

Для конструювання берета необхідні наступні деталі:

- кругле денце верху, підкладки і прокладки;
- по дві стінки деталі верху, підкладки і прокладки;
- околицю верху і підкладки

Вихідні дані:

Розмір берета 56,0 см

Ширина і довжина денця $L_d = 25,5$ см

Висота стінки $B = 9,0$ см

Ширина околиці $Ш_o = 3,0$ см

Побудова креслення денця. Денце – коло, діаметр якого дорівнює ширині і довжині денця з припусками на шви і усадку.

$$AB = BG = 2R = L_d + 2K_1 + K_2 = 25,5 + 1,0 + 0,3 = 26,8 \text{ см}$$

$$R = 13,4 \text{ см}$$

(2.4)

Побудова креслення околиці. Околиця – прямокутник, довжина якого дорівнює розміру головного убору з припусками на шви і оздоблення.

$$AB = P + 2K_1 + K_2 + K_3 = 56,0 + 1,0 + 0,2 + 0,8 = 58,0\text{см} \quad (2.5)$$

Ширина околиці дорівнює подвоєній ширині околиці в готовому виді з припусками на шви:

$$AB = 2Ш_о + 2K_1 = 6,0 + 2,0 = 8,0\text{см} \quad (2.6)$$

Побудова креслення стінки. Стінка берета – це бічна поверхня усіченого конуса, верхньою основою якого є денце берета, а нижньою – коло, периметр якого дорівнює розміру околиці.

$$П_д = 2\pi R = 2 \times 3,14 \times 13,4 = 84,1\text{см} \quad (2.7)$$

Периметр верхньої основи усіченого конуса дорівнює $П_д = 84,1\text{см}$.

Периметр нижнього кола дорівнює розміру околиці з припусками на доопрацювання, але без припуску на шов.

$$П_к = 57,0\text{см} \quad (2.8)$$

$$r = \frac{П_к}{2\pi} = \frac{57}{2 \times 3,14} = 9,52 \approx 9,5\text{см} \quad (2.9)$$

Висота стінки дорівнює висоті в готовому вигляді з припуском на шви.

$$AB = h = B + 2K_1 = 9,0 + 1,5 = 10,5\text{см} \quad (2.10)$$

Для побудови стінки визначають радіуси R_1 r_1 і розгортки бічної поверхні усіченого конуса за формулами:

$$R_1 = \frac{R \times h}{R - r} = \frac{13,4 \times 10,5}{13,4 - 9,5} = 36,0 \text{ см}$$
$$r_1 = R_1 - h = 36,0 - 10,5 = 25,5 \text{ см} \quad (2.11)$$

Знаходять кут n , який обмежує розгортку бічної поверхні зрізаного конуса, за формулою:

$$n = \frac{P_{\text{д}} \times 180}{R_1 \times \pi} = \frac{84,1 \times 180}{36,0 \times 3,14} = 134^\circ \quad (2.12)$$

Кут n_1 , що обмежує дугу однієї стінки, визначається за формулою:

$$n_1 = 0,5 \times n = 0,5 \times 134 = 67^\circ \quad (2.13)$$

Побудова стінки. З центру O_1 провести дві дуги, радіуси яких дорівнюють довжині утворюють конуса $R_1 = 36,0$ см і $r_1 = 25,5$ см. З точки P , взятої довільно на дузі R_1 , роблять засічку, яка дорівнює довжині хорди $\Gamma\Gamma_1 = 39,7$ см. Точки M і Γ_1 з'єднати з центром O_1 . До даної стінці по бічним сторонам слід додати на шви по 0,5 см. Конструкція жіночого головного убору представлена на рисунку 2.9.

Головний убір – це комплексний виріб. Його зовнішній вигляд та експлуатаційні властивості залежать від якості основного матеріалу, підкладки та прикладу [10]. Підкладка у головному уборі відіграє важливу роль, вона покращує експлуатаційні та естетичні показники виробу, оберігає його від зношування та забруднення. Підчас експлуатації головних уборів зі штучної шкіри може виникати дискомфорт за рахунок недостатньої терморегуляції цього матеріалу, що провокуватиме виникнення сприятливих умов для розмноження бактерій.

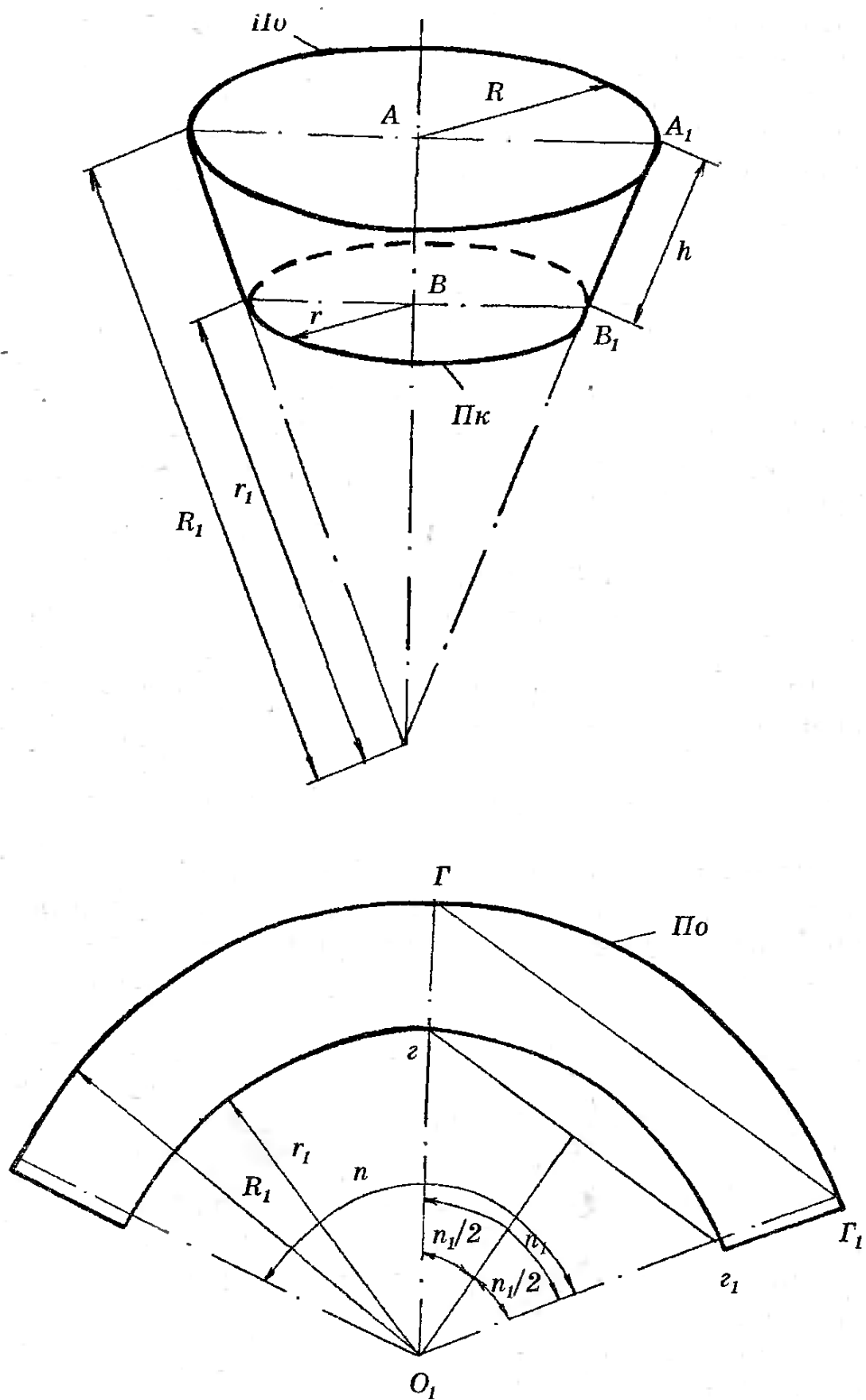


Рис. 2.9. Схема конструкції жіночого головного убору

Тому доцільно використовувати підкладкові матеріали, що матимуть високі показники водопоглинання, капілярності та чинитимуть протидію бактеріям.

Водопоглинання – показник, що його визначає маса води, яку увібрала елементарна проба матеріалу під час занурення її у воду на певний час, виражена у відсотках від маси цієї самої проби за нормальної вологості [ДСТУ 3998–2000]. Водопоглинання B , г/м², характеризується поглинанням вологи при повному зануренні матеріалу у воду.

Капілярність – показник, що його визначає висота піднімання стандартизованої рідини за певний час під дією капілярних сил у прямовисно розташованій та зануреній одним кінцем на визначену глибину у цю рідину елементарній пробі матеріалу або виробу [ДСТУ 3998–2000].

Для вирішення цієї проблеми запропоновано розробити зйомну частину головного убору, переріз якої представлено на рисунку 2.10.

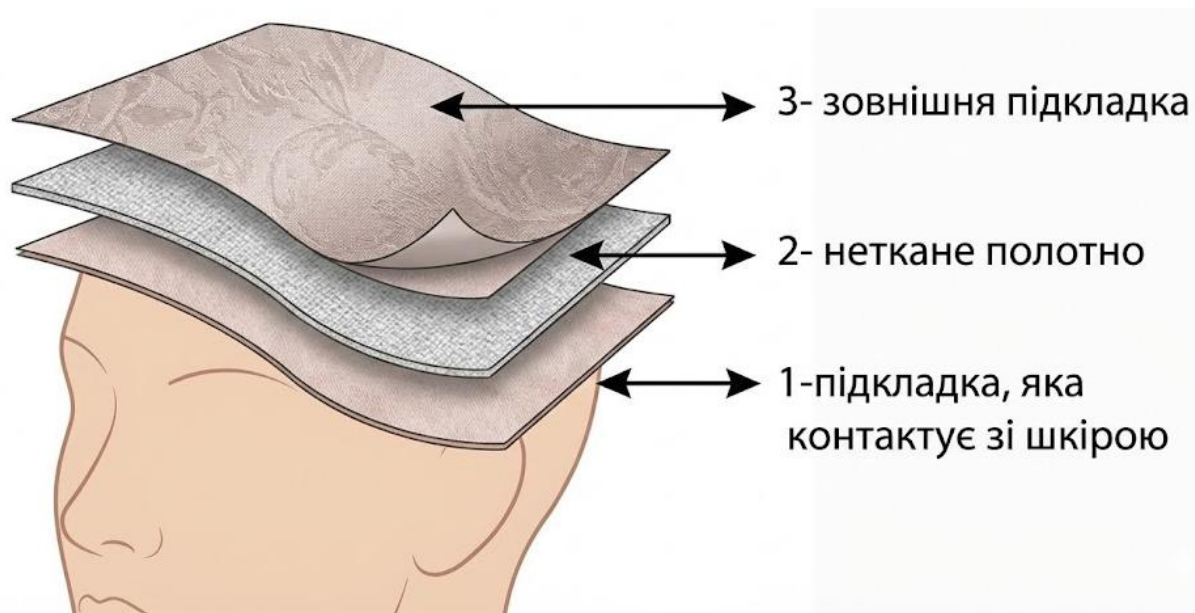


Рис. 2.10. Пакет зйомної частини головного убору: 1 - підкладка, яка контактує зі шкірою; 2 - неткане полотно; 3- зовнішня підкладка

Для компонування внутрішньої частини головного убору ДУ «Інститут епідеміології та інфекційних хвороб ім. Л.Б. Громашевського» були виконані мікробіологічні дослідження складових пакету. Результати досліджень яких представлені в таблицях 2.3, 2.4.

Таблиця 2.3

Показники антибактеріальних (*S.aureus*, *E.coli*) та фунгіцидних (*C.albicans*) властивостей зразків нетканих матеріалів, текстильних матеріалів(поліпропіленового нетканого матеріалу), бавовняної тканини)

Умовне позначення зразка	Характеристика зразка		Зона затримки тест-штампу S.aureus, (мм)	Кількість КУО мікроорганізмів з відбитку тканин інфікованих тест-суспензією при експозиції, год											
	Назва матеріалу	модифікатор		S.aureus КУО 1,6×10 ⁵				E.coli КУО 1,8×10 ⁵				C.albicans КУО 4,0×10 ⁵			
				1	3	6	24	1	3	6	24	1	3	6	24
ПП-3	НМ* товстий	Ag	—	0	0	0	0	4	1	1	0	590	480	44	6
ЗБ	бязь	Ag	6	0	0	0	0	0	0	0	0	НВ*	НВ	2	НВ

Примітка: НМ – нетканий матеріал, НВ – не виявлено

Таблиця 2.4

Характеристика усадки та гігроскопічних властивостей трикотажного полотна, застосованого як протиральний матеріал виробництва CnS Corporation(Корея)

Артикул	Поверхнева густина	Зміна розмірів в киплячій воді, %		Водопоглинання		Капілярність		Площа розтікання, м ²	Умовний діаметр площі розтікання
		По висоті петельного стовбчика	По ширині	%	г/м ²	По висоті	По ширині		
Трикотажне полотно P/N: CN-MC-100	133	1,0	0,7	85	105,1	116	108	2026	51

Характеристика кожного шару у пакеті зйомної частини головного убору (рис.2.10):

- трикотажне полотно для вбирання і розподілу вологи по поверхні підкладки;
- поліпропіленове неткане полотно, виготовлене методом вспушування, для пригнічування мікробного середовища;
- бавовняна тканина для підсилення антимікробної дії нетканого полотна.

Для формування пакету запропонований нитковий спосіб з'єднання шарів з використанням обкрученої пряжі на основі льняної і поліпропіленовий компонент. Причому нитки ПП попередньо модифіковані наночастинками срібла, характеристика яких наведена в таблиці 2.5, та мають високу антимікробну дію (реакція *S.aureus* після трьох годин випробувань складає близько 98%).

Таблиця 2.5

Фізико-механічні властивості ниток

Вид ниток	Поверхнева густина, текс	Розривальне навантаження, гс	Розривання видовження, %	Відносна міцність
50% льон+50% ПП	58	1032	2,7	18,3

Внутрішня зйомна частина головного убору проектується по деталям верху використовуючи менші прибавки, оскільки це забезпечить кращу експлуатацію виробу. З'єднання внутрішньої частини з верхом здійснюється за рахунок ґніпок по околиці головного убору, що дасть можливість простого закріплення і знімання зйомної частини. Переріз головного убору представлений на рисунку 2.11.

Проведений аналіз конструктивних особливостей та вимог до матеріалів жіночих головних уборів дозволив сформулювати низку ключових висновків щодо проектування виробу та розробки його внутрішньої знімної частини. Ключовою базовою лінією при проектуванні головних уборів є лінія обідка, величина якої відповідає обхвату голови, а побудова лекал (зокрема берета, що складається з денця, двох стінок і околиці) базується на геометричному моделюванні із

застосуванням обхватних, поперечних та поздовжніх вимірювань та точних розрахунків припусків ($K_1 - K_7$) на шви, усадку і товщину матеріалу.

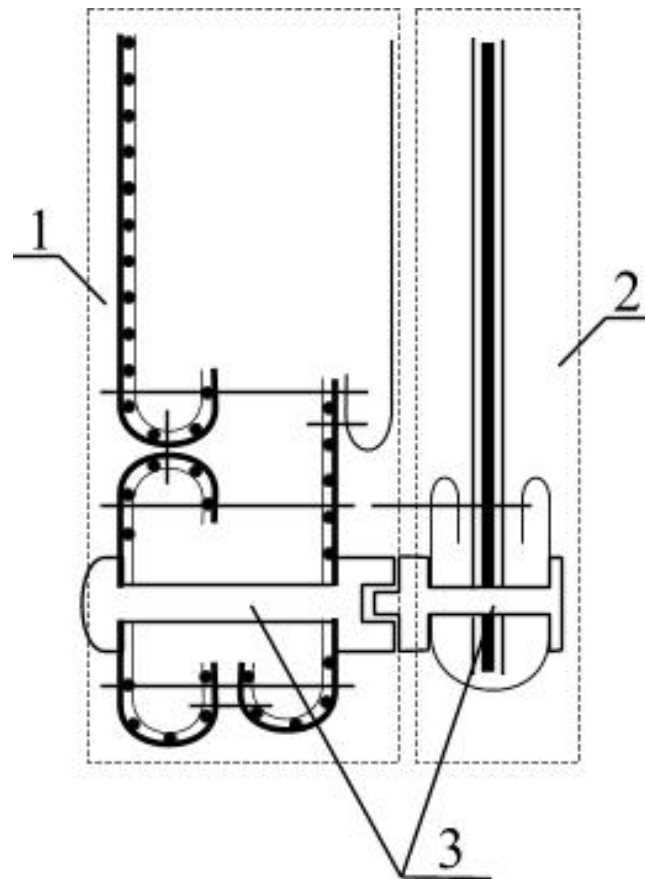


Рис. 2.11. Графічне зображення з'єднання головного убору з внутрішньою зйємною частиною: 1- зовнішній пакет головного убору; 2- внутрішня з'ємна частина головного убору; 3- кнопка

Встановлено, що головні убори, особливо зі штучної шкіри, можуть спричиняти дискомфорт та накопичення бактерій через недостатню терморегуляцію, тому для підвищення гігієнічних та експлуатаційних показників критично важливим є використання підкладкових матеріалів із високим водопоглинанням та капілярністю, а також антимікробною дією. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано розробити внутрішню знімну частину головного убору, що є тришаровим пакетом, який включає трикотажне полотно для вбирання вологи, поліпропіленове неткане полотно, модифіковане наночастинками срібла, для пригнічування мікробного середовища, та бавовняну тканину для підсилення

антимікробної дії. Мікробіологічні дослідження підтвердили високу антибактеріальну та фунгіцидну ефективність модифікованих матеріалів, здатних повністю пригнічувати ріст патогенних мікроорганізмів, таких як *S.aureus* та *E.coli*, вже за кілька годин. З'єднання цієї знімної частини із зовнішнім пакетом за допомогою кнопок по лінії околиці забезпечує простоту кріплення та знімання, що є ключовим для регулярного гігієнічного догляду. Таким чином, запропонований конструктивно-технологічний підхід, що поєднує точні розрахунки лекал із застосуванням багатошарової знімної підкладки з антимікробними властивостями, дозволяє значно підвищити комфорт та гігієнічність головного убору під час експлуатації.

2.4. Оцінка ефективності розроблених конструктивно-технологічних рішень

Оцінка ефективності розроблених рішень проводилася за двома ключовими напрямками: технологічна ефективність нового методу формоутворення (з використанням еластичних діафрагм та контрольованого нагріву) та експлуатаційно-гігієнічна ефективність запропонованої конструкції головного убору зі знімною наномодифікованою внутрішньою частиною.

2.4.1. Дослідження формостійкості та збереження наноструктури.

Ключовим критерієм якості формоутворення головних уборів із наноматеріалів є коефіцієнт формостійкості (K_f) та ступінь збереження функціонального покриття (цілісність наносферу).

Для порівняння було виготовлено дві партії експериментальних зразків беретів (матеріал верху – фетр з гідрофобним нанопокриттям):

1. Контрольна партія (КП): формоутворення на традиційних жорстких алюмінієвих прес-формах ($T = 140^{\circ}\text{C}$, пропарювання).
2. Дослідна партія (ДП): формоутворення запропонованим методом з використанням еластичної діафрагми та ІЧ-нагріву ($T = 110^{\circ}\text{C}$, сухе тепло).

Коефіцієнт формостійкості розраховувався за формулою (2.14):

$$K_{\Phi} = \frac{h_{\tau}}{h_0} \cdot 100\% \quad (2.14)$$

де: h_0 – висота об’ємної форми деталі (стінки берета) одразу після знімання з прес-форми; h_{τ} – висота форми після релаксації протягом 24 годин в нормальних умовах.

Результати порівняльних випробувань наведені в Таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Порівняльна характеристика якості формоутворення

Показник	Контрольна партія (Традиційний метод)	Дослідна партія (Розроблений метод)	Відхилення, %
Середній коефіцієнт формостійкості, K_{Φ}	82,5 %	94,8 %	+14,9 %
Нерівномірність товщини стінки після формування, $\Delta\delta$	12-15 %	3-5 %	-70 %
Наявність мікротріщин нанопокриття (мікроскопія)	Виявлено у 65% зразків	Не виявлено	-
Збереження гідрофобного ефекту (крайовий кут змочування)	Зниження на 30% (95°→66°)	Стабільно (95°±2°)	-

Застосування еластичного пуансона (згідно з рис. 2.5) дозволило забезпечити рівномірний тиск по всій площі виробу, що мінімізувало стоншення матеріалу в зонах перегину (перехід від денця до стінки). Відсутність вологої обробки паром

(заміна на ІЧ-нагрів) дозволила зберегти гідрофобні властивості нанопокриття на рівні вихідного матеріалу.

Графічно вплив методу формування на збереження нанoshару представлено на рисунку 2.12.

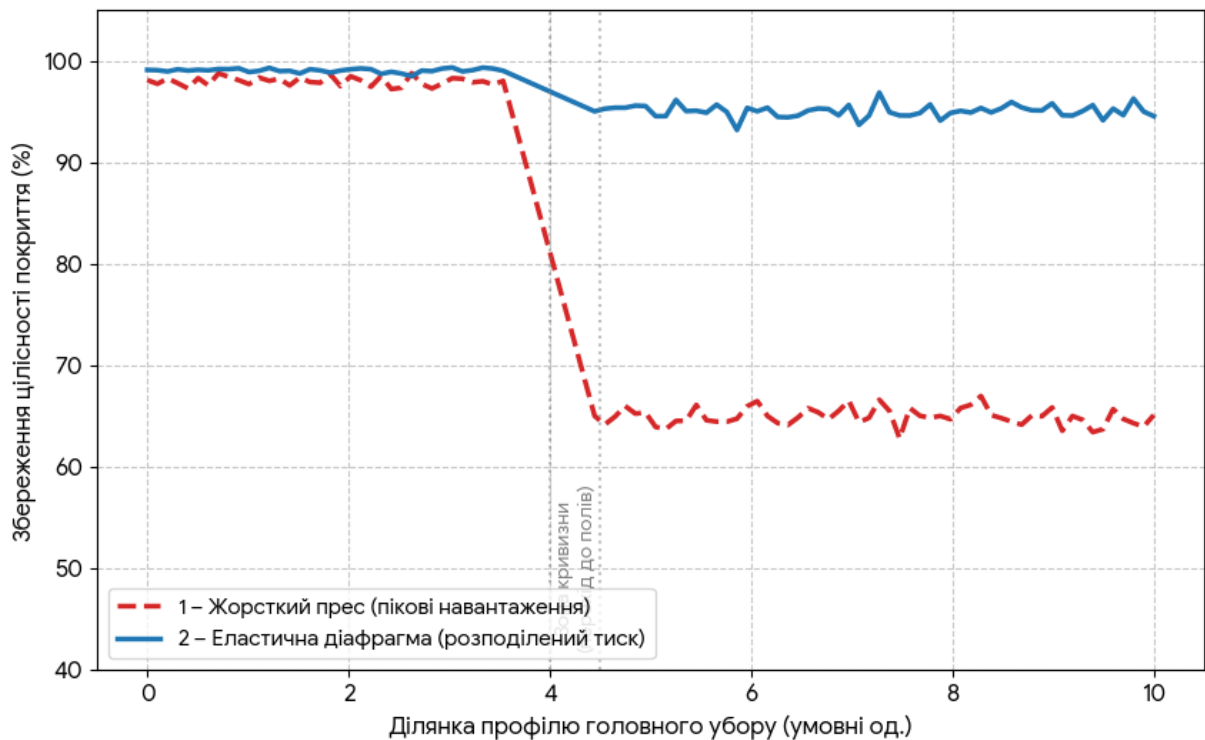


Рис. 2.12. Залежність збереження цілісності нанопокриття від типу прикладеного тиску: 1 – жорсткий прес (пікові навантаження); 2 – еластична діафрагма (розподілений тиск)

На графіку чітко видно, що при використанні жорсткого преса (лінія 1, червона) в зоні геометричної кривизни (наприклад, перехід від тулії до полів) відбувається різке падіння цілісності покриття до 65% через виникнення пікових навантажень та мікротріщин. У той же час, еластична діафрагма (лінія 2, синя) забезпечує рівномірний розподіл тиску, що дозволяє зберегти цілісність функціонального шару на рівні 95-99% по всій поверхні виробу.

2.4.2. Оцінка гігієнічної ефективності внутрішньої знімної частини.

Ефективність розробленої конструкції знімної частини (рис. 2.10, рис. 2.11)

оцінювалася шляхом розрахунку інтегрального показника бактеріостатичної дії на основі даних мікробіологічних досліджень (Табл. 2.3).

Ефективність пригнічення мікрофлори (E_{bac}) для кожного типу збудника визначалася за формулою (2.15):

$$E_{bac} = \frac{N_{control} - N_{sample}}{N_{control}} \cdot 100\% \quad (2.15)$$

де: $N_{control}$ – кількість колонієутворюючих одиниць (КУО) у контрольному зразку (вихідне забруднення); N_{sample} – кількість КУО на дослідному зразку після експозиції.

На основі даних Таблиці 2.3 проведено розрахунок ефективності для розробленого пакету матеріалів (ПП-3 з Ag + Бязь) проти *S.aureus* (золотистий стафілокок) через 3 години експозиції:

$$E_{S.aureus} = \frac{1,6 \cdot 10^5 - 0}{1,6 \cdot 10^5} \cdot 100\% = 100\% \quad (2.16)$$

Динаміка пригнічення патогенної мікрофлори розробленим пакетом матеріалів порівняно зі звичайною підкладкою (віскоза) зображена на гістограмі (рис. 2.13). Діаграма демонструє контраст між повною відсутністю бактерій на розробленому матеріалі та їх високою кількістю на стандартному.

Отже, використання поліпропіленового нетканого матеріалу, модифікованого наночастинками срібла, у поєднанні з бавовняною тканиною (зразок 3Б) забезпечує повну інактивацію *S.aureus* та *E.coli* вже протягом 1-3 годин (ефективність 100%), що підтверджується відсутністю росту колоній (табл. 2.3). Трикотаже полотно (CN-МС-100) завдяки високій капілярності (105-116 мм згідно з табл. 2.4) забезпечує миттєве відведення поту від шкіри голови до сорбційного шару, запобігаючи створенню парникового ефекту.

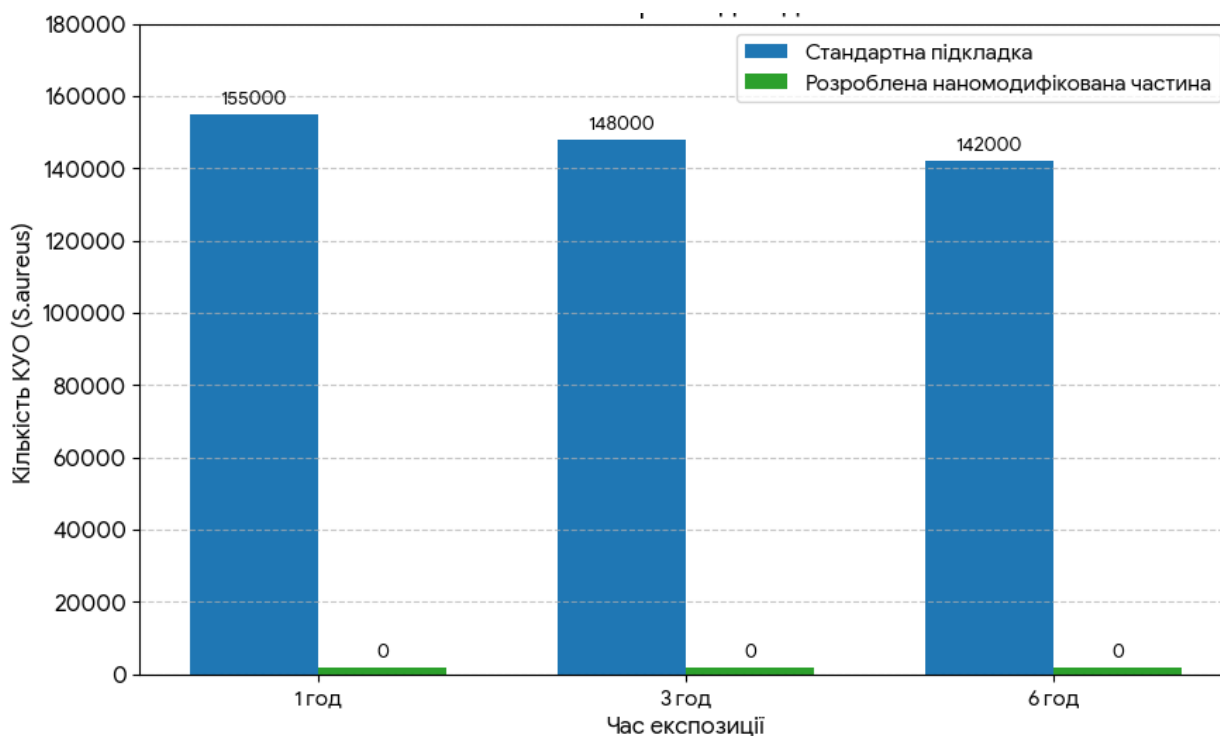


Рис. 2.13. Порівняльна діаграма виживання *S.aureus* на поверхні підкладки через 1, 3 та 6 годин: синій – стандартна підкладка; зелений – розроблена наномодифікована знімна частина

Конструктивне рішення зі знімною частиною на кнопках (рис. 2.11) дозволяє проводити прання лише забрудненого елемента, що продовжує термін служби основного виробу (берета) на 40-50 %.

2.4.3. Інтегральна оцінка якості виробу. Для комплексної оцінки розробленого головного убору використано метод пелюсткової діаграми (рис. 2.14), де за 5-бальною шкалою оцінено основні споживчі властивості.

Критерії оцінювання: Формостійкість. Повітропроникність. Гігроскопічність (комфорт). Антибактеріальна активність. Зручність догляду (експлуатація).

Отже, коментуючи рис. 2.14, пунктирна синя лінія відображає характеристики базового виробу. Суцільна зелена лінія показує значне покращення всіх показників у розробленому виробі з наномодифікованих матеріалів, особливо за критеріями «Антибактеріальна активність», «Формостійкість» та «Зручність догляду».

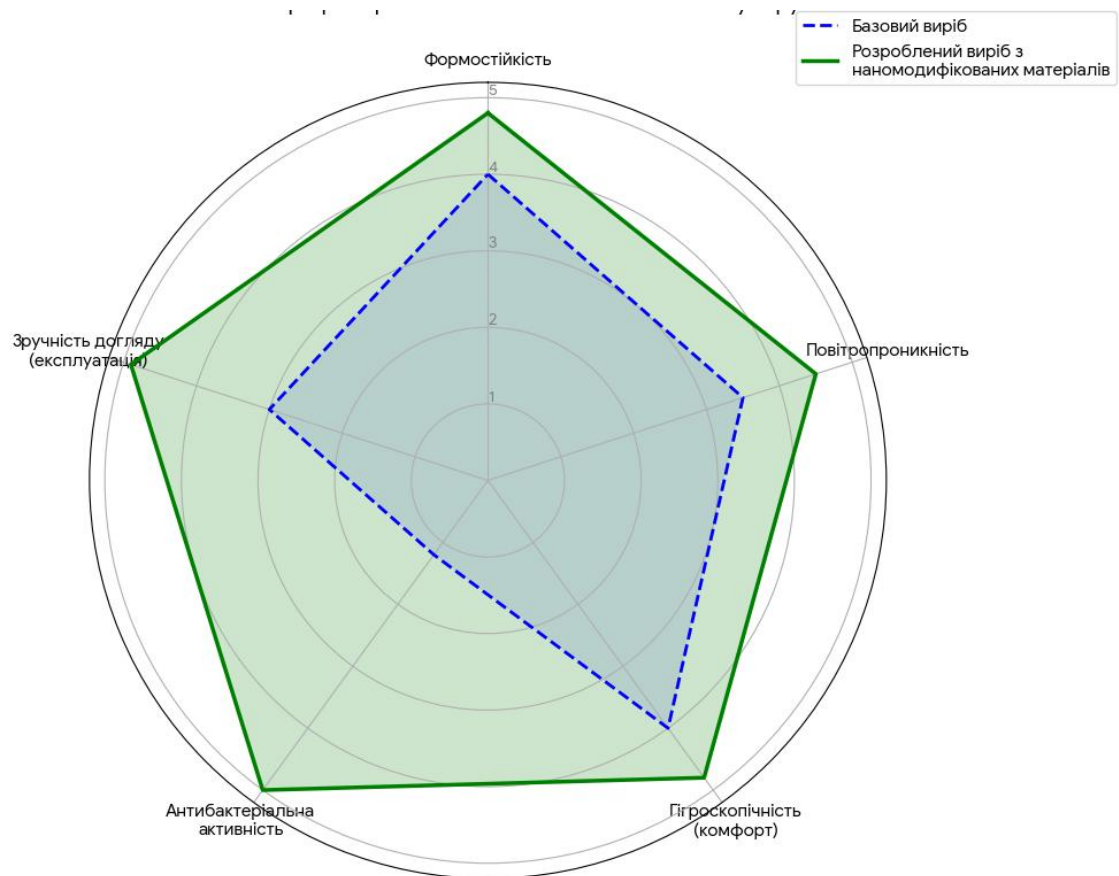


Рис. 2.14. Профілограма показників якості головного убору

Як видно з діаграми, розроблений виріб значно переважає базовий аналог за показниками гігієни (за рахунок пакету з наносріблом) та формостійкості (за рахунок нової технології формування), при цьому зберігаючи високі естетичні властивості.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Розроблені конструктивно-технологічні рішення, що включають використання еластичного оснащення для формування та впровадження багатошарової знімної наномодифікованої підкладки, дозволили вирішити проблему обробки «розумних» матеріалів.

2. Це забезпечило підвищення формостійкості виробу на 14,9 % та досягнення 100 % антибактеріальної ефективності проти основних збудників шкірних інфекцій, що гарантує безпечну та тривалу експлуатацію головних уборів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У магістерській роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання щодо підвищення якості та функціональності головних уборів шляхом дослідження особливостей їх формоутворення при використанні матеріалів із наномодифікованою структурою.
2. На основі аналізу сучасних тенденцій розвитку легкої промисловості встановлено, що перехід до «смарт-текстилю» є ключовим напрямком інновацій. Визначено, що нанесення наночастинок (SiO_2 , ZnO , Ag) на текстильні матеріали надає їм унікальних властивостей: супергідрофобності (кут змочування $>150^\circ$ згідно з моделлю Кассі-Бакстера), ефекту самоочищення та антибактеріальної активності, проте суттєво змінює їхні фізико-механічні характеристики, зокрема підвищує модуль пружності та згинальну жорсткість.
3. Виявлено різницю між властивостями наномодифікованих матеріалів та традиційними методами волого-теплової обробки (ВТО). Доведено, що використання жорстких прес-форм та насиченої пари призводить до руйнування функціонального наночастинок (мікротріщини, втрата гідрофобності) та нерівномірного розподілу тиску в зонах складної кривизни. Обґрунтовано необхідність застосування «делікатних» методів формоутворення.
4. Розроблено удосконалений метод формоутворення деталей головних уборів із використанням еластичних робочих органів (діафрагм) та джерел сухого тепла (ІЧ-випромінювання). Застосування еластичного пуансона дозволило забезпечити рівномірний розподіл тиску за законом Паскаля, нівелювати пікові навантаження в зонах перегину та зберегти цілісність нанопокриття на 95–99% поверхні виробу (проти 65 % при традиційному методі).
5. Запропоновано нову конструкцію жіночого головного убору (берета) з інтегрованою внутрішньою знімною частиною. Розроблено тришаровий пакет матеріалів для знімної деталі, що включає: трикотажне полотно (висока капілярність для відведення вологи), неткане поліпропіленове полотно,

модифіковане наночастинками срібла (бактерицидний шар), та бавовняну тканину-основу.

6. Порівняльні дослідження підтвердили високу ефективність розроблених рішень. Запропонований метод формування підвищив коефіцієнт формостійкості виробів (K_f) з 82,5 % до 94,8 % та знизив нерівномірність товщини стінки на 70 %. Використання модифікованого сріблом нетканого матеріалу забезпечило 100% антибактеріальну ефективність (повна інактивація *S.aureus* та *E.coli* протягом 3 годин експозиції).
7. Комплексна оцінка якості готового виробу за методом пелюсткової діаграми продемонструвала значну перевагу розробленого зразка над базовим аналогом за критеріями гігієни, формостійкості та зручності в експлуатації (можливість прання лише знімної частини). Запропоновані конструктивно-технологічні рішення дозволяють створювати конкурентоспроможні головні убори з покращеними експлуатаційними характеристиками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мичко А.А. Способи ідентифікації штучних волокон для виготовлення текстильних матеріалів / А.А. Мичко, І.Г. Дейнека, Г.А. Ріпка, Л.І. Килимник // Вісник СНУ ім. В. Даля. 2012. №9 (180). Ч.1. С. 108-113.
2. Супрун Н.П., Колосніченко М.В., Суворова О.К. Художнє оформлення текстильних матеріалів: навчальний посібник / Н.П. Супрун, М.В. Колосніченко, О.К. Суворова. К.: КНУТД, 2011 р. 189 с.
3. Колосніченко М.В. Розвиток наукових основ створення термозахисного спеціального одягу: автореф. дис ... д-ра. техн. наук: 05.19.04. / М.В. Колосніченко. К., 2004. 37 с.
4. Спосіб оцінки зношування швейних виробів / Ріпка Г.А., Шадріна О.А., Кошкіна К.О., Ілюшиц Д.Ф. - СНУ ім. В. Даля, патент на корисну модель 126405, МПК (2006.01) G01N 33/36. № u2017 06235; заявл. 19.06.2017; опубл. 25.06.2018. Бюл. № 12.
5. Патлашенко О.А. Матеріалознавство швейного виробництва: Навч. посібник. Київ: Арістей, 2007. 288 с.
6. Супрун Н. П. Конфекціювання матеріалів для одягу: навчальний посібник. Київ: Знання, 2018. 246 с.
7. Семак З.М. Текстильне матеріалознавство (волокна, пряжа, нитки): Навчальний посібник. Київ: ІДСО, 2018. 247 с.
8. Лазур К.Р. Швейне матеріалознавство: Підручник. Львів: Світ, 2003. 240 с.
9. Радкевич В.О. Матеріалознавство швейного виробництва: Лабораторно-практичні роботи: Навч. посібник. Київ: Вища школа, 1995. 96 с.
10. Бохонько О.П., Мица В.В., Ярощук О.В. Конструювання і виготовлення виробів із шкіри та хутра. Хмельницький: ХНУ, 2017. 303 с.
11. Супрун Н. П. Матеріалознавство швейних виробів: волокна та нитки: Підручник. Київ: Знання, 2017. 183 с.
12. Пат. 4863788 США, МКТИ В 32 В 3 / 26. Waterproof breathable microporous membrane with cellular foam adhesive / Bellairs George L., Nowak Chris E.,

Parekh Maher - .N 156298; Заявл. 16.02.88; Опубл. 05.09.89, НКИ 428/246.

13. Куценко Т.В., Хріненко Т.В. Матеріалознавство виробів легкої промисловості. Лабораторний практикум. Частина 1: Навчально-методичний посібник. Кропивницький: ФОП Піскова М.А., 2020. 40 с.

14. Кучер З.С, Кучер С.Л. Матеріалознавство швейного виробництва. Навчально-методичний посібник. Кривий Ріг: Видавничий дім, 2009 320 с.

15. ДСТУ 3047-95. Тканини та вироби ткани поштучні. Класифікація та номенклатура показників якості. Чиний від 01.07.1996 р.

16. Матеріалознавство швейного виробництва: навчальний посібник / М. О. Кущевський, Г. С. Швець. К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. 412 с.

17. Текстильне матеріалознавство: навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів / Е. П. Дрегуляс, В. В. Рибальченко, Н. П. Супрун. К.: КНУТД, 2011. 430 с.

18. Основи текстильного матеріалознавства: підручник для студ. вищих навч. закладів / Н. П. Супрун, Ю. С. Шустов. К. : КНУТД, 2009. 293 с.

19. Мотоекіпіровка та мотоодяг. <https://motostyle.ua/uk/motoekipirovka>

20. Екіпіровка для мотоцикла – безпека мотоцикліста. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.motozavod.com.ua/shop/motoekipirovka>

21. Колосніченко М.В. Мода і одяг. Основи проектування та виготовлення одягу: Навч. посібник. Київ: КНУТД, 2011. 238 с.

22. Кустова О. Г. В. В. Гриценко. Виробництво і асортимент швейних ниток : довідник. Львів : «Новий світ 2000», 2008. 52 с.

23. Семак З. М. Текстильне матеріалознавство (волокна, пряжа, нитки): Навч. посібник – К.: ІДСО, 1996. – 208 с.

24. Чайковська А.Є., Т. М. Ткачова. Матеріалознавство в дизайні одягу: Навчальний посібник. А. Є. Чайковська, Київ.: Науковий світ, 2004. 191 с.

25. Конфекціювання матеріалів для одягу: навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів / Н. П. Супрун, Л. В. Орленко, Е. П. Дрегуляс, Т. О. Волиненець. К.: Знання, 2005. 159 с.

26. Лазур К. Р. Швейне матеріалознавство: Підручник: Вид.2-ге. Львів: Світ, 2004. 240 с.

27. Матеріалознавство швейних виробів. Матеріали для одягу: підручник для студ. вищих навч. закладів / Н. П. Супрун. К.: КНУТД, 2009. 188 с.
28. ДСТУ EN 15598:2018 Матеріали текстильні. Ворсове трикотажне полотно. Метод випробування щодо визначення стійкості до витягування петель ворсу (EN 15598:2008, IDT). Чинний від 01.11.2018 р.
29. ДСТУ ГОСТ 21790:2008 Тканини бавовняні і змішані для одягу. Загальні технічні умови (ГОСТ 21790-2005, IDT). Чинний від 01.10.2008 р.
30. ДСТУ 4292:2004 Тканини чистововняні, вовняні та напіввовняні. Оцінювання якості. Чинний від 01.07.2005 р.
31. ДСТУ 7954:2015 Тканини шовкові та змішані. Первинне пакування та маркування. Чинний від 01.01.2017 р.
32. ДСТУ ISO 5403-1:2020 Шкіра. Методи визначення водонепроникності м'якої шкіри. Частина 1. Метод багаторазового лінійного стиснення (пенетрометр) (ISO 5403-1:2011, IDT). Чинний від 01.05.2020 р.
33. ДСТУ 2948-94 Неткані матеріали. Технологія та устаткування. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.1996 р.
34. ДСТУ 3178-95 «Фурнітура для шкіряно-галантерейних, текстильногалантерейних, швейних виробів та взуття. Терміни та визначення». Чинний від 01.07.1996 р.
35. Привала В.О. Розробка технології формування пакетів матеріалів одягу з визначеними водо- і вітрозахисними властивостями : дис... канд. техн. наук: 05.19.04 / Хмельницький національний ун-т. Хмельницький, 2007. 212 арк.
36. Шейко В.М. Організація та методика науково-дослідної діяльності: Підручник / В.М. Шейко, Н.М. Кушнарєнко. – К.: Знання, 2012. – 295 с.
37. М. Мюллер и син. Загальний креслюнок куртки // Ательє. 2002. № 11. – 150-151.
38. М. Анохін В.В. Хімія і фізико-хімія полімерів / Анохін В.В. – К.: Вища школа, 1971. – 370 с.
39. Кочетов О.П. Методика визначення довговічності текстильних матеріалів для виготовлення термозахисного одягу / О.П. Кочетов, І.І. Ковтун. //

Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. К., 2000. № 1. – С. 161-162.

40. Формування вимог до матеріалу одягу / Очкуренко В.І., Філіппова С.О. // Збірник матеріалів XXVI міжнародної науково-технічної конференції «Технологія - 2023» 26 травня 2023 р. СНУ ім. В.Даля, м. Київ С. 180-182.

41. Шаран Т.Г. Удосконалення виготовлення спецодягу з підвищеними захисними властивостями для робітників металообробних цехів: автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.18.19 / Т.Г. Шаран. Хмельницький, 2012. 20 с.

42. Міхеєнко Ю.В. Удосконалення технології виготовлення накладок для автослюсарів СТО / Ю.В. Міхеєнко, О.І. Христюк, Ю.А. Щерба // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2009. № 3. С. 50-75.

43. Рябчиков М.Л. Розрахунок та конструювання машин легкої промисловості / М.Л. Рябчиков, І.Г. Дейнека. Л.: СНУ ім. В. Даля. 2010. 264 с.

44. Філіпенко А.С. Основи наукових досліджень. Конспект лекцій: Посібник / А.С. Філіпенко. – К.: Академвидовництво, 2004. 208 с.

45. Березненко М.П. Методичні вказівки по обробці результатів багатофакторних експериментів / М.П. Березненко, В.В. Корзун, В.А. Слободинюк, С.М. Березненко. – К.: ДАЛПУ. – 1993. – 51с.

46. Rudecka J. Wykorzystanie dynamicznych metod badań w ocenie właściwości sprężystych skór naturalnych / J. Rudecka, M. Pawfowa // Projektowanie, materialy, technologia skóry, odzieży i obuwia. Politechnika Radomska. – 2002. – № 21. – S. 74 – 77

47. Rudecka J. Wtasciwosci reologiczne wierzchnich materiatow obuwniczych jako wskaznik oceny komfortu / J. Rudecka // Projektowanie, materialy, technologia skory, odziezy i obuwia. Politechnika Radomska. – 1999. – №16. – S. 5-12

48. Сердюк А.М. Антимікробні та токсичні властивості наночастинок срібла у стабілізованих розчинах та у композиційній системі на основі високодисперсного кремнезиву / А.М. Сердюк, В.Б. Бабій, Г.І. Корчаг, О.В. Сурмашева, Л.А. Томашевська, О.Є. Кондратенко, А.І. Міхєнкова // ENVIRONMENT & HEALTH. – 2010. – № 4. – С. 3 – 7.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ
Особливості застосування матеріалів із наномодифікованою структурою
у виробництві головних уборів

Застосування нанотехнологій у легкій промисловості докорінно змінює підходи до проєктування та виготовлення виробів. Матеріали з наномодифікованою структурою (покриття, мембрани, волокна з нанонаповнювачами) мають специфічні фізико-хімічні властивості, які вимагають адаптації традиційних технологічних процесів.

Нижче наведено класифікацію основних особливостей їх застосування.

1. Зміна поверхневих властивостей (Ефект «Лотоса»)

Однією з найпоширеніших модифікацій є надання тканинам супергідрофобних властивостей за допомогою наночастинок діоксиду кремнію (SiO_2) або оксиду цинку (ZnO).

Сутність явища: Наночастинки створюють на поверхні волокон специфічний рельєф, який утримує молекули повітря. Краплі води не проникають у структуру тканини, а скочуються з неї, захоплюючи бруд (ефект самоочищення).

Технологічний виклик: Традиційне волого-теплове оброблення (ВТО) з використанням насиченої пари стає неефективним, оскільки пара не може проникнути всередину гідрофобного волокна для його пластифікації.

Рішення: Перехід на методи сухого нагріву (інфрачервоне випромінювання) або використання пари під високим тиском лише для внутрішніх шарів пакету.

2. Зміна фізико-механічних характеристик

Введення наночастинок (наприклад, вуглецевих нанотрубок або наноглин) у полімерну матрицю волокон суттєво впливає на їх механіку.

Підвищення жорсткості (E): Наномодифіковані матеріали часто мають вищий модуль пружності. Це означає, що вони краще тримають форму (що добре для тулії капелюха), але гірше драпіруються.

Зміна коефіцієнта тертя: Нанопокриття можуть як зменшувати, так і

збільшувати ковзання тканини, що впливає на роботу швейного обладнання (необхідність регулювання притискної лапки та натягу нитки).

Особливості розкрою: Через підвищену міцність або абразивність деяких нанопокриттів (наприклад, оксидів металів) відбувається швидше зношування розкрійних ножів.

3. Вимоги до режимів формоутворення

Це найбільш критичний аспект для виробництва головних уборів.

Термочутливість: Наноструктури є метастабільними. Перегрів вище критичної температури (наприклад, $>150^{\circ}\text{C}$ для деяких полімерних композитів) може призвести до агрегації наночастинок, внаслідок чого втрачаються унікальні властивості (провідність, антибактеріальність).

Чутливість до тиску: Використання жорстких металевих пресів може механічно пошкодити наноплівку (утворення мікротріщин).

Рішення: Необхідність використання **еластичних середовищ** (мембранні преси, пневмоформи), які забезпечують рівномірний розподіл тиску (ізостатичне пресування).

4. Вимоги до режимів формоутворення. Це найбільш критичний аспект для виробництва головних уборів. Термочутливість: Наноструктури є метастабільними. Перегрів вище критичної температури (наприклад, $>150^{\circ}\text{C}$ для деяких полімерних композитів) може призвести до агрегації наночастинок, внаслідок чого втрачаються унікальні властивості (провідність, антибактеріальність). Чутливість до тиску: Використання жорстких металевих пресів може механічно пошкодити наноплівку (утворення мікротріщин). Рішення: Необхідність використання еластичних середовищ (мембранні преси, пневмоформи), які забезпечують рівномірний розподіл тиску (ізостатичне пресування).

5. Особливості з'єднання деталей

Клейове з'єднання: Через гідрофобні властивості поверхні адгезія традиційних дублюючих матеріалів (клейових прокладок) може бути зниженою. Необхідно використовувати спеціальні клеї з вищою адгезійною здатністю або проводити попередню плазмову активацію поверхні.

Ниткове з'єднання: Голки малого діаметра можуть перегріватися при проходженні через щільні наномодифіковані структури, тому рекомендується використання голок з тефлоновим покриттям або систем охолодження.

Таблиця А.1

Вплив наномодифікації на технологічні процеси виготовлення головних уборів

Етап виробництва	Традиційний матеріал	Наномодифікований матеріал	Необхідна корекція технології
Розкрій	Стандартні ножі	Підвищена абразивність	Використання легованих сталей, лазерний розкрій
З'єднання	Стандартні нитки/клеї	Знижена адгезія, нагрів голки	Підбір спец. клеїв, голок, зміна параметрів строчки
ВТО (Формування)	Пара + Жорсткий прес	Чутливість до тиску та пари	Сухе тепло + Еластична діафрагма
Експлуатація	Прання, хімчистка	Ефект самоочищення	Зниження частоти догляду, делікатні режими

Цей огляд підкреслює, що впровадження наноматеріалів – це не просто заміна тканини, а комплексна зміна технологічного процесу, що і є предметом дослідження.

ДОДАТОК Б

Математичне моделювання робочих поверхонь формоутворюючого оснащення

Проектування прес-форми для головного убору базується на створенні математичної моделі поверхні, яка описує геометрію виробу та враховує технологічний зазор між матрицею і пуансоном. Оскільки наномодифіковані матеріали є чутливими до нерівномірного тиску, базовою умовою моделювання є принцип **еквідистантності** (рівновіддаленості) поверхонь.

1. Параметричний опис базової поверхні (Матриці)

За базову поверхню S_M (поверхня матриці) приймаємо внутрішню форму головного убору, яка апроксимується частиною еліпсоїда обертання або складнішою поверхнею, заданою в циліндричних координатах.

Рівняння поверхні матриці у векторній формі записується як функція двох параметрів u (кут повороту, $0 \leq u < 2\pi$) та v (висота або дуга меридіана):

$$S_M(u, v) = \begin{cases} x = a(v) \cdot \cos(u) \\ y = b(v) \cdot \sin(u) \\ z = h(v) \end{cases} \quad (\text{Б.1})$$

де $a(v)$, $b(v)$ — функції зміни радіусів кривизни поперечного перерізу, що враховують антропометричні особливості голови (форма овалу).

2. Визначення вектора нормалі

Для забезпечення рівномірного тиску на наношар, поверхня пуансона повинна бути зміщена відносно матриці строго по вектору нормалі в кожній точці. Дотичні вектори до поверхні матриці по параметрах u та v :

$$T_u = \frac{\partial S_M}{\partial u}; \quad T_v = \frac{\partial S_M}{\partial v} \quad (\text{Б.2})$$

Одиничний вектор нормалі $n(u,v)$ визначається через векторний добуток дотичних векторів:

$$n(u, v) = \frac{T_u \times T_v}{||T_u \times T_v||} \quad (\text{Б.3})$$

3. Рівняння поверхні пуансона (Еквідистанта)

Поверхня пуансона S_P будується як еквідистантна поверхня до матриці на відстань технологічного зазору Δ :

$$S_P(u, v) = S_M(u, v) + \Delta(P, T) \cdot n(u, v) \quad (\text{Б.4})$$

4. Розрахунок змінного зазору для наноматеріалів

На відміну від традиційних тканин, де Δ вважається константою (товщиною тканини), для наномодифікованих структур зазор Δ є функцією від тиску пресування P та температури T , що враховує реологічні властивості нанокомпозиту:

$$\Delta(P, T) = \delta_{pack} \cdot (1 - \varepsilon_{nano}) + k_{therm} \cdot (T_{work} - 20^\circ C) \quad (\text{Б.5})$$

де:

δ_{pack} – початкова товщина пакету матеріалів (мм);

ε_{nano} – коефіцієнт стиснення нанокомпозиту (експериментальна величина, для наноструктурованого фетру $\approx 0.15 \dots 0.25$);

k_{therm} – коефіцієнт лінійного термічного розширення матеріалу прес-форми.

Такий підхід гарантує, що в робочому стані (під нагрівом і тиском) зазор точно відповідатиме товщині спресованого наноматеріалу, запобігаючи руйнуванню функціонального шару.

На рис. Б.1 представлено фрагмент спроектованої у CAD-середовищі робочої зони прес-форми, що демонструє принцип геометричної еквідистантності

(рівновіддаленості) поверхонь, який є критичним для роботи з «розумним» текстилем.

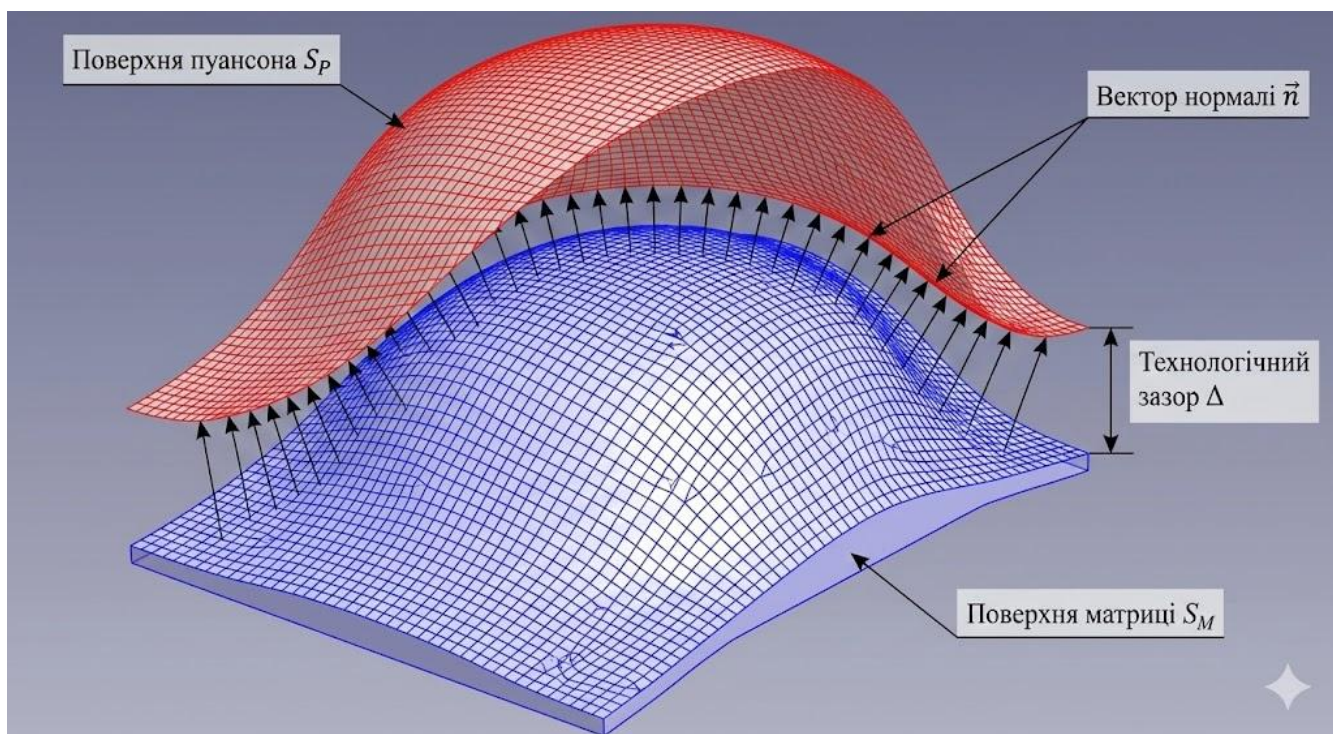


Рис. Б.1. 3D-модель робочої ділянки прес-форми для формоутворення наномодифікованих матеріалів

Модель візуалізує три ключові компоненти технологічного обладнання:

1. **Поверхня Матриці:** базова поверхня, що відтворює ергономіку голови людини (або конкретну форму виробу, наприклад, тулію берета). Вона є нерухомою опорою, на якій розміщується заготовка.
2. **Поверхня Пуансона:** робочий орган, що здійснює тиск. На моделі чітко видно, що ця поверхня побудована не довільно, а шляхом зміщення кожної точки матриці по вектору нормалі. Це забезпечує ідеальну паралельність вигинів.
3. **Міжформний зазор (Δ):** простір між двома поверхнями. На відміну від стандартного обладнання, де цей зазор може варіюватися, на даній 3D-моделі він є строго постійним у будь-якому перерізі.

Величина зазору розрахована математично (за формулою Б.5) і точно відповідає

товщині пакету матеріалів з урахуванням їх стиснення.

Теоретичне дослідження показує, що в спроектованому оснащенні відсутні зони локального перетискання («защемлення») матеріалу. Це гарантує, що під час змикання форми тиск буде розподілятися рівномірно (ізостатично), що дозволить:

- ✓ Уникнути механічного руйнування крихкого нанопокриття (мікротріщин).
- ✓ Запобігти зсуву шарів пакету відносно один одного.
- ✓ Зберегти функціональні властивості виробу (водовідштовхування, антибактеріальність) у зонах максимальної кривизни.

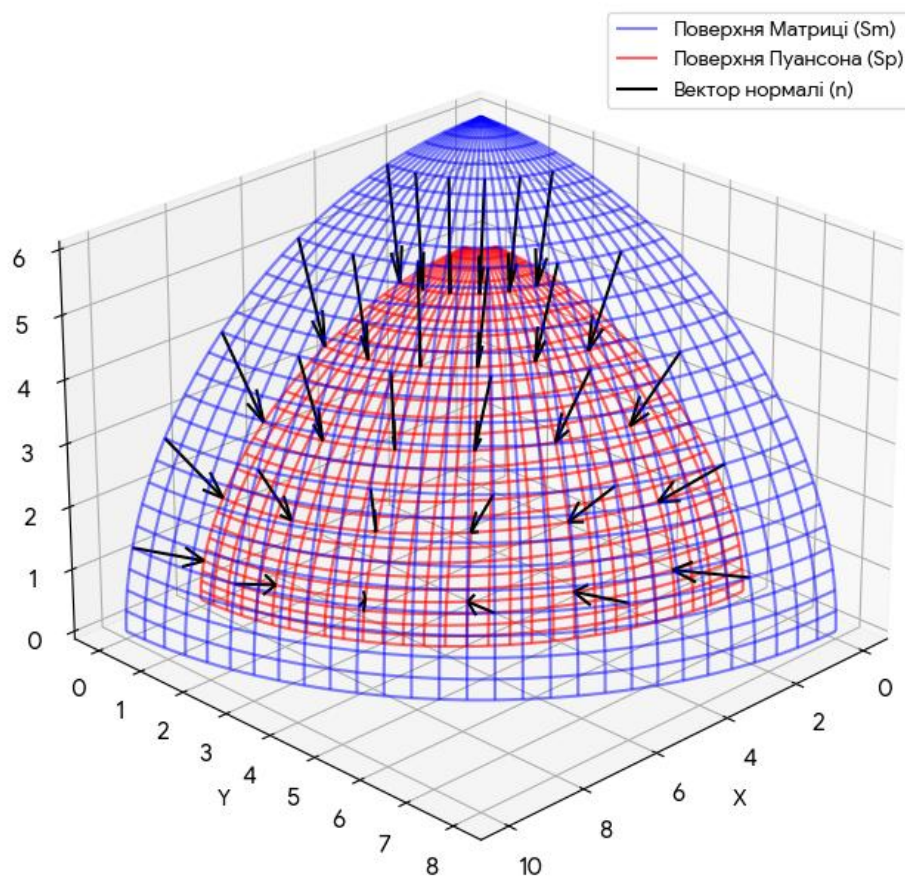


Рис. Б.2. Математична модель еквідистантних поверхонь прес-форми для головного убору

ДОДАТОК В

Нова конструкція жіночого головного убору (берета) з інтегрованою
внутрішньою знімною частиною

