

Хмельницький національний університет  
Факультет технологій і дизайну  
Кафедра хімії та хімічної інженерії

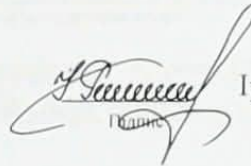
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Дослідження ефективності впровадження процесу моніторингу якості сировини  
для підвищення надійності виробництва військового одягу

Рівень вищої освіти другий магістерський  
Галузь знань 16 - «Хімічна інженерія та біоінженерія»  
Спеціальність 161 - «Хімічні технології та інженерія»  
Освітня програма «Хімічні технології та інженерія»

КвРХТІ.024136.01.09.ПЗ

Виконала: здобувачка 2 курсу,  
група ХТІмз-24-1



Підпис

Ірина БАГІНСЬКА

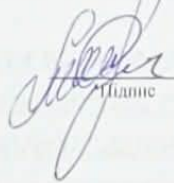
Керівник: доктор техн. наук, професор



Підпис

Ольга ПАРАСКА

Нормоконтролер

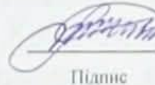


Підпис

Олександр СТРЕМЕЦЬКИЙ

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри хімії та хімічної інженерії



Підпис

Ольга ПАРАСКА

19 грудня 2025 р.

Хмельницький 2025

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему: Дослідження ефективності впровадження процесу моніторингу якості сировини для підвищення надійності виробництва військового одягу

Автор роботи - здобувачка групи ХТІмз-24-1

Ірина БАГІНСЬКА

Керівник роботи - д. т. н, професор

Ольга ПАРАСКА

Обсяг магістерської роботи 73 сторінки, таблиць 7, рисунків 5, джерел посилання 35, графічної частини слайдів виконаних у програмі презентації.

Ключові слова: моніторинг якості, сировина, військовий одяг, надійність виробництва, контроль якості, технологічний процес, стандартизація.

Мета кваліфікаційної роботи – дослідити ефективність упровадження процесу моніторингу якості сировини та оцінити його вплив на підвищення надійності виробництва військового одягу.

Об'єкт дослідження – сировина, яку використовують у виробництві військового одягу.

Предмет дослідження – процес моніторингу якості сировини та його вплив на стабільність технологічного процесу й надійність готової продукції.

Визначено чинники, що впливають на коливання якості сировини та їх наслідки для технологічного процесу виготовлення військового одягу. Розроблено критерії та методи оцінювання якості сировини на різних етапах виробництва. Запропоновано та апробовано систему моніторингу якості із використанням сучасних методів контролю. Проведено оцінку ефективності впровадженого моніторингу за ключовими показниками надійності виробництва та сформовано практичні рекомендації щодо вдосконалення системи контролю сировини.

Здобувачка групи ХТІмз-24-1

Ірина БАГІНСЬКА

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ СИРОВИНИ .....	8
1.1 Поняття та основні характеристики сировини для військового одягу.....	8
1.2 Нормативно-правові акти та стандарти якості матеріалів для військового одягу .....	14
1.3 Сучасні методи контролю та моніторингу якості текстильних матеріалів для військового одягу .....	18
1.4 Особливості вимог до військових тканин в умовах бойових дій, сучасні методи моніторингу якості .....	21
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ СИРОВИНИ.....	26
2.1 Послідовність етапів виробництва військового одягу .....	26
2.2 Аналіз технологічного процесу перевірки якості матеріалів .....	29
2.3 Методи ідентифікації дефектів та їх усунення у виробництві військового одягу .....	31
2.4 Використання інноваційних технологій у контролі якості військового одягу .....	35
2.5. Система відстежуваності сировини, FMEA-аналіз .....	38
3 ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ СИРОВИНИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ВІЙСЬКОВОГО ОДЯГУ .....	41
3.1 Оцінка економічної ефективності моніторингу якості у виробництві військового одягу .....	41
3.2 Вплив якості сировини на кінцеву вартість виробництва військового одягу .....	44

3.3 Аналіз витрат на контроль якості та його ефективність запобіганню дефектам у виробництві військового одягу .....	47
3.4 Порівняння альтернативних підходів до моніторингу: традиційні та автоматизовані системи .....	50
3.5 Оцінка ризиків, пов'язаних із використанням неякісної сировини, та їх економічні наслідки .....	53
3.6 Моделювання економічного ефекту від впровадження системи моніторингу якості сировини .....	56
3.7 Соціально-економічний ефект від модернізації системи контролю якості сировини військового одягу .....	62
ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	68

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- STANAG – стандартизаційна угода НАТО;
- ISO – міжнародна організація зі стандартизації;
- MIL-SPEC / MIL-DTL / MIL-C – військові технічні умови США;
- ASTM – американське товариство з випробувань та матеріалів;
- NATO – північноатлантичний альянс;
- ДСТУ – державний стандарт України;
- ГОСТ – Державний стандарт колишнього СРСР;
- FR – вогнестійкий матеріал (Flame Resistant);
- IR – інфрачервоний (Infrared), маскувальні властивості;
- NYCO – суміш нейлону та бавовни (Nylon-Cotton);
- Kevlar – арамідне волокно для захисту від порізів і куль;
- Nomex – вогнестійке арамідне волокно;
- Cordura – міцна нейлонова тканина;
- DWR – водовідштовхувальне покриття (Durable Water Repellent);
- ECWCS – багатошарова система одягу для холодного клімату (Extended Cold Weather Clothing System);
- MOLLE – модульне спорядження для кріплення аксесуарів (Modular Lightweight Load-carrying Equipment);
- FMEA – аналіз відмов і їхніх наслідків (Failure Mode and Effects Analysis);
- QMS – система управління якістю (Quality Management System);
- QR – штрих-код швидкого зчитування (Quick Response);
- IoT – інтернет речей (Internet of Things).

## ВСТУП

Останні роки характеризуються значним зростанням вимог до якості, надійності та функціональності військового одягу, що зумовлено не лише стрімким розвитком технологій, а й актуальною потребою забезпечення належного рівня захищеності військовослужбовців у складних умовах виконання бойових завдань. Військове обмундирування сьогодні перетворюється на високотехнологічний продукт, здатний забезпечувати комплексний захист від зовнішніх факторів, зручність під час тривалого використання, довговічність та відповідність стандартам, що застосовуються в арміях провідних країн світу.

Одним із ключових чинників, що визначає якість та надійність готової військової продукції, є стан та характеристики сировини, використаної у виробництві. Текстильні матеріали та комплектуючі для військового одягу мають відповідати жорстким вимогам щодо міцності, стійкості до стирання, термостійкості, волого- та вітрозахисту, екологічності та ергономічності. Недостатній контроль якості або несвоєчасне виявлення дефектів у сировині можуть спричинити передчасне зношення виробів, втрату їх функціональності, збільшення виробничих витрат, а у деяких випадках – створити додаткові ризики для життя та здоров'я військовослужбовців.

Сучасні підходи до виготовлення військового одягу потребують впровадження ефективної системи моніторингу якості сировини на всіх етапах постачання та виробничого циклу. Такий моніторинг забезпечує не лише відповідність матеріалів нормативним документам (ДСТУ, ISO, EN, MIL-SPEC, STANAG тощо), а й дозволяє підвищити прогнозованість виробничих процесів, зменшити кількість браку, оптимізувати логістичні рішення та підвищити загальну економічну стабільність підприємства. Упровадження сучасних технологій контролю – від автоматизованих систем тестування до інтелектуальних датчиків і візуальних систем діагностики – стає практичною необхідністю для підприємств, які прагнуть забезпечити конкурентоспроможність на ринку оборонної продукції.

З огляду на важливість підтримання належного матеріально-технічного забезпечення сил оборони України та загальну тенденцію до модернізації оборонно-промислового комплексу, питання економічної ефективності процесів контролю якості набуває особливої актуальності. Раціональне використання ресурсів, мінімізація виробничих втрат, підвищення довговічності та надійності продукції – це не лише фактори економічної доцільності, а й вагомий внесок у забезпечення обороноздатності держави.

У цьому контексті дослідження ефективності впровадження процесу моніторингу якості сировини стає комплексним науково-практичним завданням, яке охоплює технічні, технологічні, організаційні та економічні аспекти. Воно передбачає аналіз сучасних методів контролю, оцінку їх впливу на структуру собівартості, визначення економічних вигід та потенційних ризиків, а також розроблення рекомендацій щодо оптимізації відповідних процесів на підприємствах з виробництва військового одягу.

Метою магістерської роботи є комплексне техніко-економічне обґрунтування впровадження системи моніторингу якості сировини, що використовується у виробництві військового одягу, з метою підвищення надійності та ефективності виробничого процесу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати теоретичні основи процесів контролю та моніторингу якості текстильних матеріалів і їхню роль у сучасних виробничих системах;
- дослідити інноваційні методи, засоби й технології перевірки якості сировини, що застосовуються у виробництві військового одягу;
- охарактеризувати вимоги державних і міжнародних стандартів до матеріалів, які використовують у військовому обмундируванні;
- оцінити вплив процесів моніторингу на техніко-економічні показники виробництва: собівартість, рентабельність, обсяг браку, ресурсозатратність;
- проаналізувати практичні кейси та досвід підприємств легкої промисловості щодо впровадження систем контролю якості;

- розрахувати економічну доцільність впровадження сучасних систем моніторингу з урахуванням витрат, ефектів та потенційних вигід;
- сформулювати пропозиції щодо вдосконалення процесу моніторингу якості сировини для підвищення надійності виробництва та конкурентоспроможності підприємства.

Наукова новизна роботи полягає у системному підході до оцінювання ефективності контролю якості сировини та в узагальненні економічних і технологічних рішень, що дозволяють інтегрувати інноваційні методи моніторингу у виробництво військового одягу з максимальною результативністю.

Практичне значення полягає у можливості застосування результатів дослідження для оптимізації виробничих процесів, зниження виробничих витрат, підвищення стійкості підприємства до ризиків, а також покращення якості продукції, яка має стратегічне значення для держави.

## 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ СИРОВИНИ

### 1.1 Поняття та основні характеристики сировини для військового одягу

Військовий одяг – це спеціальне обмундирування, призначене для військовослужбовців, яке відповідає вимогам комфорту, захисту, функціональності та довговічності. Він є важливим елементом екіпірування, що забезпечує фізичний захист, адаптацію до різних кліматичних умов і сприяє підвищенню боєздатності особового складу.

Військова форма включає різні елементи одягу та аксесуарів, які використовуються в різних умовах: бойових операціях, навчаннях, патрулюванні або повсякденному носінні [1].

Розглянемо основні характеристики, необхідні для забезпечення високої якості та ефективності військового одягу. До показників зносостійкості та міцності належать використання високоякісних матеріалів, таких як сумішеві тканини з додаванням поліестеру, арамідних волокон та кордури, висока стійкість до механічного зношування, розривів і стирання, а також армовані шви, що підвищують довговічність одягу .

До захисних властивостей військового одягу відносяться вогнестійкість, що досягається спеціальною обробкою тканин для запобігання займанню, кулестійкість завдяки застосуванню матеріалів з додаванням кевлару або композитних волокон для забезпечення бронезахисту, маскувальні властивості за рахунок камуфляжних візерунків для злиття з місцевістю, а також водовідштовхувальні властивості, що досягаються використанням мембранних покриттів для захисту від вологи [2].

До показників комфорту і ергономіки належить зручний крій одягу, який не обмежує рухів під час виконання бойових завдань, наявність вентиляційних зон та дихаючих матеріалів для запобігання перегріву, а також регульовані елементи, такі як манжети, пояси та коміри, що дозволяють індивідуально підганяти одяг.

Температурна адаптивність забезпечується можливістю використання одягу у різних кліматичних умовах – зимових, літніх та демісезонних комплектів, застосуванням утеплюючих матеріалів, таких як фліс, синтетичні наповнювачі та вовна, а також багат шаровою системою одягу (наприклад, ECWCS), що дозволяє адаптувати комплекти до змін температури.

До волого- та вітрозахисту належать мембранні тканини, такі як Gore-Tex або Softshell, що забезпечують захист від дощу та сильного вітру, а також просочення тканин водовідштовхувальними речовинами для запобігання намоканню [3].

Функціональність та модульність одягу забезпечується наявністю великої кількості кишень і відділень для розміщення боєкомплекту, документів і інструментів, кріпленнями для додаткового обладнання за системою MOLLE, а також можливістю комбінування з бронежилетами, рюкзаками та іншими елементами екіпірування.

Гігієнічність і антибактеріальні властивості забезпечуються спеціальними просоченнями тканин для зменшення ризику шкірних захворювань та здатністю матеріалів до швидкого висихання.

Виробники військового одягу повинні дотримуватися міжнародних і національних стандартів якості (НАТО, ДСТУ, ГОСТ) та враховувати спеціальні вимоги до тканин, фурнітури і технології виробництва [33].

Класифікація військового одягу включає польовий одяг, який використовують для бойових операцій і навчань і який характеризується високою міцністю та камуфляжними властивостями; казармений (повсякденний) одяг, який носить у мирний час, є комфортним і менш зносостійким; парадний одяг для офіційних заходів, що має естетичний вигляд; спеціалізований одяг для танкістів, пілотів, морських піхотинців, снайперів, який володіє специфічними властивостями; а також зимовий та літній одяг, адаптований до відповідних температурних умов.

Військовий одяг – це не просто уніформа, а високотехнологічний виріб, що має забезпечити максимальний захист, комфорт і функціональність військовослужбовця в різних умовах. Високі вимоги до його якості обумовлюють

необхідність ретельного контролю сировини та процесу виробництва, що є основним предметом дослідження в контексті техніко-економічного обґрунтування моніторингу якості.

Сировина для виробництва військового одягу повинна відповідати найвищим вимогам якості, оскільки від її характеристик залежать не лише функціональність, але й безпека та комфорт військовослужбовців під час виконання завдань. Військовий одяг часто експлуатують в умовах екстремальних температур, механічних навантажень та під впливом небезпечних факторів, тому матеріали повинні мати високі показники зносостійкості, маскуванню, захисних властивостей, зручності використання і комфорту. Для цього важливо правильно підібрати сировину. Розглянемо основні параметри, які враховують при виборі матеріалів [4].

До механічних характеристик військових тканин належать міцність на розрив і розтяг, що визначає здатність матеріалу витримувати значні навантаження без пошкоджень, особливо у зонах швів та при активних фізичних діях. Для підвищення цього показника застосовують сумішеві тканини, такі як бавовна з поліестером або нейлон з арамідними волокнами, а також армовані матеріали на кшталт кевлару та кордури (рисунок 1.1). Важливими є також зносостійкість, що забезпечує протидію механічному стиранню під час тривалого використання, та стійкість до деформації, тобто збереження форми після багаторазового прання і навантажень.



Рисунок 1.1 – Зразок сумішевої тканини Cordura 1000D Mil-Spec

До експлуатаційних характеристик належать дихаючі властивості, повітро- і паропроникність, які забезпечують комфорт у динамічних умовах використання. Гігроскопічність, тобто здатність тканини вбирати та відводити вологу, сприяє

запобіганню перегріванню або переохолодженню. Важливим параметром є терморегуляція, оскільки сучасні матеріали мають забезпечувати збереження тепла взимку та відведення його влітку. Наприклад, у зимовому одязі застосовують синтетичні утеплювачі типу Thinsulate або PrimaLoft, а також натуральні наповнювачі, як-от гусячий пух, що гарантують тепло навіть за екстремальних температур. Літні тканини, навпаки, повинні бути легкими та добре вентиляльованими. Багатошарові системи, як-от ECWCS, дозволяють адаптувати одяг до широкого діапазону кліматичних умов. Додатково важливою є антистатичність, що запобігає накопиченню електрики та пов'язаним із цим ризикам [34].

Кліматична стійкість включає вітронепроникність, особливо актуальну для зимових комплектів і спецоперацій, а також водовідштовхувальні властивості, яких досягають шляхом просочення або використання мембранних покриттів типу Gore-Tex чи Softshell. Такі тканини здатні відводити вологу, зберігаючи захист від атмосферних опадів. Покриття DWR (Durable Water Repellent) також підвищує водонепроникність без зниження дихаючих властивостей. Стійкість до ультрафіолетового випромінювання запобігає вигоранню кольору та зниженню міцності матеріалу.

Маскувальні характеристики включають ефективну камуфляжність, що передбачає відповідність кольорів і візерунків типу місцевості: лісової, степової, пустельної чи міської. Важливими є також низька помітність у видимому, інфрачервоному та радіолокаційному спектрах. Стійкість до УФ-випромінювання забезпечує довговічність камуфляжу, а спеціальні барвники зберігають насиченість навіть під впливом сонця. Зменшення теплового сліду підвищує маскувальні властивості, знижуючи ймовірність виявлення за допомогою тепловізійних систем. Матовість поверхні додатково запобігає появі відблисків.

Хімічна та біологічна стійкість військових тканин передбачає здатність витримувати контакт із агресивними речовинами, такими як паливно-мастильні матеріали, мийні засоби та кислоти. Для деяких спеціалізованих комплектів застосовують покриття, що забезпечують захист від радіаційного та

електромагнітного впливу. Окреме значення мають кулестійкість і стійкість до порізів, які забезпечуються за рахунок використання арамідних волокон або поліетилену високої молекулярної маси. Антибактеріальні властивості тканин запобігають розмноженню мікроорганізмів під час тривалого носіння, а спеціальні обробки захищають від проникнення комах [4, 5].

Вогнестійкість матеріалів передбачає здатність протидіяти відкритому вогню та високим температурам, не підтримуючи горіння. Для цього тканини просочують спеціальними протипожежними складами або виготовляють із негорючих волокон, таких як Nomex чи Kevlar, що забезпечують самозатухаючий ефект. Термостійкість гарантує, що волокна не плавитимуться і не деформуватимуться під впливом високих температур.

Структурні особливості тканин визначаються їхнім складом: натуральні матеріали, як-от бавовна та вовна, забезпечують комфорт і добру терморегуляцію, тоді як синтетичні, наприклад поліестер, нейлон і арамід, забезпечують міцність, водовідштовхувальні властивості та зносостійкість. Комбіновані тканини, зокрема ріп-стоп, поєднують переваги обох груп і забезпечують високу міцність при відносно невеликій вазі.

Важливу роль відіграють технологічні можливості обробки, які забезпечують легкість очищення, швидке висихання, а також сумісність із мембранними й захисними покриттями. Еластичність і легка вага матеріалу сприяють мобільності військовослужбовця, забезпечуючи свободу рухів у зонах підвищеного навантаження [6].

Функціональність та ергономіка військового одягу визначаються гнучкістю матеріалу, міцністю швів, можливістю модульного використання елементів екіпірування і раціональним розташуванням кишень та кріплень. Усі матеріали, які використовуються для виготовлення військового одягу, повинні відповідати національним стандартам ДСТУ та ГОСТ, міжнародним стандартам ISO, а також вимогам НАТО STANAG, що визначають механічні, теплотехнічні та захисні параметри військових тканин.

Правильний вибір сировини для військового одягу залежить від кліматичних умов, умов експлуатації та типу виконуваних завдань. Оптимальним варіантом є багатошаровий підхід: основний шар – дихаючий та комфортний, зовнішній шар – захисний від води, вітру, механічних пошкоджень, додаткові мембрани – для специфічних завдань (вогнестійкість, хімзахист тощо). Таким чином якість сировини для військового одягу визначає його ефективність, довговічність і безпеку. Високоякісні матеріали повинні забезпечувати захист від вогню, води, механічних навантажень, а також бути комфортними для тривалого носіння в складних умовах [7].

Разом із наведеними характеристиками суттєвого значення набуває стабільність якості сировини в умовах серійного виробництва військового одягу. Навіть за умови відповідності матеріалів заявленим технічним параметрам, відсутність системного контролю може призвести до коливань фізико-механічних та експлуатаційних показників тканин, фурнітури й захисних покриттів. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває організація моніторингу якості сировини на всіх етапах її постачання та використання у виробничому процесі.

Сировина, що застосовується для виготовлення військового одягу, повинна характеризуватися стабільністю властивостей протягом усього нормативного терміну експлуатації виробу. Це передбачає збереження міцності, еластичності, захисних, маскувальних і гігієнічних характеристик після багаторазових циклів прання, механічних навантажень і впливу кліматичних факторів. Погіршення зазначених показників негативно впливає не лише на споживчі властивості одягу, а й може створювати потенційні ризики для безпеки військовослужбовців під час виконання службово-бойових завдань.

Важливим аспектом є також технологічна сумісність сировини з процесами швейного виробництва. Матеріали повинні забезпечувати формування міцних і довговічних швів, бути стійкими до механічних пошкоджень під час пошиття та не втрачати функціональних властивостей у результаті термічної або хімічної обробки. Невідповідність сировини технологічним вимогам призводить до

підвищення рівня виробничого браку, зростання витрат і зниження загальної надійності готової продукції.

Окремої уваги потребують санітарно-гігієнічні та екологічні характеристики матеріалів. Використання безпечних барвників і просочень, відсутність токсичних компонентів та відповідність нормативам щодо вмісту шкідливих речовин є обов'язковими вимогами до сировини для військового одягу. Це обумовлено тривалим контактом виробів зі шкірою людини та специфічними умовами експлуатації, що обмежують можливості регулярного догляду за одягом.

Таким чином, сировина для військового одягу розглядається як комплексний об'єкт оцінювання, що поєднує фізико-механічні, експлуатаційні, захисні, гігієнічні та технологічні характеристики. Забезпечення її відповідності нормативним вимогам і стабільності показників якості можливе лише за умови впровадження ефективної системи моніторингу. Це підтверджує доцільність дослідження процесів контролю якості сировини як одного з ключових чинників підвищення надійності та ефективності виробництва військового одягу [8].

## 1.2 Нормативно-правові акти та стандарти якості матеріалів для військового одягу

Виробництво військового одягу регламентують різними нормативно-правовими актами, стандартами якості та технічними вимогами, які забезпечують відповідність матеріалів необхідним критеріям міцності, зносостійкості, захисних властивостей і комфорту. Військове екіпірування має відповідати як національним стандартам (ДСТУ, ГОСТ), так і міжнародним вимогам (ISO, NATO STANAG, ASTM) [9].

Країни-учасники НАТО використовують єдині стандарти щодо військового спорядження та обмундирування, які регламентовано системою STANAG (Standardization Agreement). Основні стандарти НАТО, що стосуються військового одягу, включають STANAG 2333, який встановлює вимоги до маскуванню військової форми в інфрачервоному спектрі; STANAG 2920, що визначає

випробування матеріалів на стійкість до балістичного впливу; STANAG 4113, який регламентує захисні властивості тканин від впливу вологи, хімічних речовин і біологічних загроз; та STANAG 4370, що визначає критерії витривалості військового обмундирування в екстремальних умовах.

Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) встановлює загальні вимоги до текстильних матеріалів, що застосовуються у виробництві військової форми. Серед основних ISO-стандартів – ISO 12947-2, який передбачає випробування на зносостійкість (тест Мартиндейла); ISO 105-X12, що оцінює стійкість фарбування тканин до стирання; ISO 811, який визначає водонепроникність тканин; ISO 6940 та ISO 15025, що регламентують вогнестійкість матеріалів; ISO 5077, який визначає стабільність розмірів тканин після прання; та ISO 11611 і ISO 11612, що регулюють захист від термічних ризиків для вогнестійких тканин.

У Сполучених Штатах Америки застосовують власну систему сертифікації військових матеріалів, що включає MIL-DTL-44436 – вимоги до військового форменого одягу США; MIL-C-83429 – балістичні тканини для бронежилетів; ASTM D6413 – випробування тканин на горючість; а також NIR-Compliant, що встановлює вимоги до тканин, які не відображають інфрачервоне випромінювання.

В Україні військове обмундирування має відповідати державним стандартам (ДСТУ) та технічним умовам Міністерства оборони (ТУ МОУ). Основні ДСТУ, що регулюють якість матеріалів, включають ДСТУ ГОСТ 20299:2017 – тканини костюмні із змішаних волокон; ДСТУ EN 343:2020 – вимоги до водонепроникності та паропроникності одягу; ДСТУ 7178:2010 – вимоги до армованих тканин із поліамідних волокон; ДСТУ 4239-2003 – тканини для спецодягу із підвищеною вогнестійкістю; та ДСТУ 3899:2014 – вимоги до матеріалів для захисного одягу, зокрема військового. Окрім стандартів, затверджені Технічні умови МОУ (ТУ МОУ), які містять детальні характеристики військової форми, її складових та допустимі методи перевірки якості [10].

Військовий одяг у деяких країнах, зокрема в Україні, виготовляють також згідно з радянськими стандартами, частина яких досі актуальна. Найважливіші ГОСТи для військової форми включають ГОСТ 27575-87 – матеріали для

спеціального та захисного одягу; ГОСТ 8972-75 – вимоги до камуфляжних тканин; ГОСТ 25295-2003 – тестування тканин на міцність і довговічність; ГОСТ 9355-88 – вогнестійкі тканини для спецодягу. Хоча ці стандарти продовжують використовувати, Україна з 1992 року поступово переходить на власні ДСТУ та європейські ISO, що сприяє гармонізації національних вимог із міжнародними нормами.

Окрім стандартів, виробництво військового одягу в Україні регулюють ряд законодавчих документів, а саме Закон України «Про державне оборонне замовлення» – визначає процедуру закупівлі військової форми для ЗСУ, Закон України «Про стандартизацію» – регламентує застосування стандартів ДСТУ, ISO та ТУ МОУ, Накази Міністерства оборони України – містять вимоги до характеристик військового одягу, Постанова Кабінету Міністрів України № 345 від 2017 року – затверджує норми забезпечення військовослужбовців формою, Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» – встановлює методи перевірки та випробування матеріалів [20, 21].

Щоб матеріал вважали придатним для використання у військовій формі, він має пройти спеціальні випробування зокрема на розривну міцність (ISO 13934-1, ГОСТ 3813-72), на стійкість до тертя (тест Мартиндейла, ISO 12947), на вологопроникність (ISO 811, EN 343), на вогнестійкість (ASTM D6413, ISO 15025), на усадку після прання (ISO 5077, ГОСТ 3816), на хімічну стійкість (STANAG 4113).

Після випробувань тканини отримують сертифікати відповідності, які підтверджують їхню якість та відповідність вимогам військових стандартів.

Контроль якості матеріалів для військового одягу здійснюється через систему міжнародних, національних і галузевих стандартів, які встановлюють вимоги до механічної міцності, захисних властивостей, зносостійкості та комфорту. Дотримання цих стандартів забезпечує надійність військового обмундирування, підвищує безпеку військовослужбовців та сприяє ефективності їхньої служби [11].

У світовій практиці якість військового обмундирування регламентується комплексом міжнародних та національних стандартів, які встановлюють суворі вимоги до фізико-механічних, експлуатаційних і захисних характеристик матеріалів. Порівняння українських норм із такими системами, як STANAG НАТО, ISO та американські MIL-SPEC, дозволяє визначити рівень відповідності національних стандартів сучасним міжнародним вимогам і оцінити перспективи їх гармонізації. Стандартизаційні угоди НАТО (STANAG) охоплюють вимоги до матеріалів та готових виробів військового призначення, приділяючи особливу увагу підвищеній міцності, стійкості до стирання, захисту у складних кліматичних та бойових умовах, а також ергономічності та сумісності обмундирування з іншими елементами спорядження. Вони передбачають низку спеціалізованих випробувань, спрямованих на визначення довговічності матеріалів, їх стійкості до вологи, вогню, механічних впливів, і таким чином забезпечують високий рівень боєготовності та безпеки військовослужбовців. Значна частина методів тестування у STANAG базується на міжнародних стандартах ISO, що полегшує їх адаптацію в різних країнах.

Міжнародні стандарти ISO на текстиль є універсальною базою, яка регламентує методи оцінки повітропроникності, водонепроникності, стійкості до стирання, вогнестійкості, теплозахисних характеристик і стабільності розмірів матеріалів. Хоча ISO не орієнтовані виключно на військову сферу, вони виступають фундаментом для контролю якості тканин, на який у військових стандартах накладаються додаткові вимоги. ISO гарантують порівнюваність результатів випробувань у світовому масштабі та забезпечують єдині науково обґрунтовані підходи до визначення властивостей текстильних матеріалів.

Найбільш жорстку систему вимог у сфері виробництва військового одягу представляють американські стандарти MIL-SPEC, що відзначаються високою деталізацією та комплексністю. Вони регулюють не лише властивості матеріалів, а й сам процес виробництва, інспекції, постачання та маркування виробів. MIL-SPEC встановлюють підвищені вимоги до міцності, стійкості тканин до хімічних речовин, ультрафіолетового випромінювання, механічних пошкоджень,

збереження захисних властивостей у тривалих польових умовах. Особлива увага приділяється матеріалам зі спеціальними властивостями – зокрема вогнестійким, антистатичним, маскувальним в інфрачервоному діапазоні, а також матеріалам для екстремальних температурних режимів.

Порівняльний аналіз показує, що STANAG, ISO та MIL-SPEC мають спільну тенденцію до підвищення вимог до довговічності й функціональності текстильних матеріалів, але STANAG та MIL-SPEC виділяються значно суворішими вимогами, пов'язаними з реальними умовами бойового застосування. Крім того, MIL-SPEC і STANAG регламентують організацію контролю якості значно детальніше, ніж ISO, визначаючи процедури інспекції, допустимі відхилення та критерії бракування [18].

Для України аналіз зазначених стандартів має стратегічне значення, оскільки гармонізація національних норм із ISO, STANAG та MIL-SPEC дозволяє підвищити якість військового одягу, адаптувати виробничі процеси до міжнародних вимог, розширити можливості кооперації з оборонною промисловістю країн НАТО та підвищити конкурентоспроможність українських підприємств. Впровадження найбільш сучасних міжнародних вимог сприятиме не лише покращенню експлуатаційних характеристик українського військового обмундирування, але й забезпечить стабільність якості продукції, прискорить інтеграцію України в міжнародну систему оборонної стандартизації та створить підґрунтя для виходу українських виробників на глобальний ринок оборонної продукції [12, 20].

### 1.3 Сучасні методи контролю та моніторингу якості текстильних матеріалів для військового одягу

Контроль якості текстильних матеріалів є важливим етапом у виробництві військового одягу. Високі вимоги до характеристик тканин, зносостійкості, захисту від зовнішніх факторів та комфорту потребують застосування сучасних методів моніторингу та випробувань. Сучасні методи контролю якості текстильних

матеріалів можна розділити на фізико-механічні, хімічні, оптичні, автоматизовані та спеціалізовані тестування. Фізико-механічні методи застосовують для визначення міцності, зносостійкості, пружності, еластичності та інших механічних властивостей тканин. До таких методів контролю належать тест на розривну міцність, що виконується за стандартами ISO 13934-1, ASTM D5034, ГОСТ 3813-72 та визначає, яке навантаження потрібне для розриву тканини з використанням розривних машин, які фіксують силу розриву в Ньютонах (N). Тест на стирання (тест Мартиндейла) (рисунок 1.2) виконують відповідно до ISO 12947-2, ASTM D4966 та визначає, наскільки довго тканина може витримувати тертя без руйнування [22].

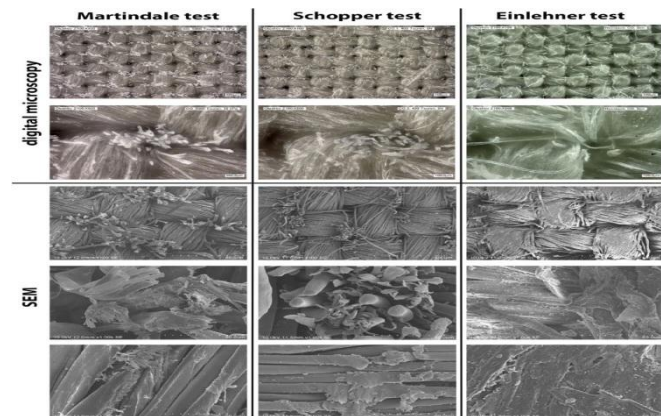


Рисунок 1.2 – Приклад аналізу зносу в тестах стирання (Мартиндейла) – мікроскопічне зображення структури тканин після зношення

Для тестування беруть зразок тканини, натирають абразивним матеріалом, поки не з'являться перші ознаки зношування. Тест на гнучкість та деформацію визначає, наскільки тканина стійка до згинання і розтягнення та використовується для оцінки зручності носіння та довговічності військового одягу. Випробування на розтягнення та усадку виконують відповідно до ISO 5077, ГОСТ 3816 – тестування стійкості до розтягнення та зменшення розмірів після прання і визначає стабільність розмірів після багатократного прання та експлуатації [14].

Хімічний контроль дозволяє оцінити склад тканини, стійкість до впливу агресивних речовин та екологічну безпеку. До хімічних методів аналізу належить

спектральний аналіз волокон, де використовують інфрачервону спектроскопію (FTIR, ATR-FTIR) для визначення складу тканини та наявності синтетичних домішок, що допомагає виявити фальсифікацію сировини. Перевірка на токсичність та екологічну безпеку визначає наявність формальдегідів, важких металів та хімічних барвників, які можуть бути шкідливими для людини, і проводиться відповідно до стандартів OEKO-TEX 100, ISO 17075. Аналіз вогнестійкості відповідає стандартам ISO 15025, ASTM D6413, ГОСТ 9355-88 та випробовується шляхом піддавання зразка впливу відкритого полум'я, завдяки чому оцінюють швидкість загоряння, ступінь пошкодження тканини та самозатухання.

До оптичних та цифрових методів контролю належить лазерна та оптична мікроскопія, які застосовують для детального вивчення структури волокон, дефектів і нерівностей, використовуючи лазерні скануючі мікроскопи для аналізу мікроелементів текстилю. Ультрафіолетова та інфрачервона спектрометрія допомагає визначити стійкість барвників до вигорання та використовується для тестування маскувальних властивостей відповідно до стандартів STANAG 2333. До автоматизованих та цифрових методів контролю належать комп'ютеризовані системи аналізу текстилю, які використовують сучасні сканери та камери високої роздільної здатності для аналізу текстильних матеріалів у режимі реального часу та виявлення дефектів тканини за допомогою штучного інтелекту. Гіперспектральний аналіз застосовують в автоматизованих виробничих лініях для оцінки складу та структури тканин, що дозволяє швидко ідентифікувати відхилення у якості матеріалів. 3D-сканування тканин допомагає оцінити текстуру, розтяжність та поведінку матеріалу при різних навантаженнях і використовується при проектуванні військової форми [15].

До спеціалізованих тестів для військового текстилю належить камуфляжний аналіз (STANAG 2920, STANAG 2333), завдяки якому військовий текстиль тестують на здатність маскування в різних умовах (денне та нічне світло, ІЧ-діапазон) та аналізують відбиття інфрачервоних хвиль, забезпечуючи невидимість для тепловізорів. Тести на водонепроникність (ISO 811, EN 343) проводять шляхом

піддавання матеріалу впливу води під тиском, оцінюючи, скільки міліметрів води витримає тканина до моменту протікання. Тестування у реальних умовах включає перевірку матеріалу в польових умовах за різних температур та кліматичних впливів, а також випробування на гнучкість, міцність, комфорт і можливість носіння в екстремальних умовах.

Сучасні методи контролю якості текстильних матеріалів включають фізико-механічні, хімічні, оптичні та автоматизовані технології. Завдяки використанню інноваційних підходів, таких як лазерний аналіз, штучний інтелект, 3D-сканування та спектральний контроль, виробники можуть забезпечити високу якість військового одягу, відповідність міжнародним стандартам та оптимальні експлуатаційні характеристики. Ефективний моніторинг якості сировини дозволяє знизити виробничі витрати, підвищити довговічність військового екіпірування та забезпечити надійний захист військовослужбовців у бойових умовах [16].

#### 1.4 Особливості вимог до військових тканин в умовах бойових дій, сучасні методи моніторингу якості

Бойові дії характеризуються високою інтенсивністю, технологічністю та значною варіативністю умов, що суттєво підвищує вимоги до матеріалів, які застосовуються у виробництві військового одягу. Військові тканини повинні забезпечувати комплексний захист, надійність і функціональність, водночас залишаючись зручними та стійкими до тривалих навантажень. Основними напрямками вимог є стійкість до вогню, маскувальні властивості, висока міцність, водонепроникність та оптимальна повітропроникність. Важливим елементом формування цих властивостей є використання сучасних високотехнологічних матеріалів, розроблених спеціально для потреб армій провідних країн світу.

Однією з ключових характеристик військових тканин є стійкість до вогню (FR-fabrics), що особливо актуально для підрозділів, які діють у зонах підвищеної термічної небезпеки. Серед найпоширеніших матеріалів цього класу є Nomex – арамідне волокно, яке не підтримує горіння, має високу термостійкість і зберігає

механічну міцність під час впливу високих температур. Воно широко застосовується у формі льотчиків, танкістів, екіпажів БМП та підрозділів, що працюють поблизу місць вибухів чи займання (рисунк 1.3). Інші високоякісні FR-матеріали, такі як Kermel, PBI або Lenzing FR, забезпечують аналогічний рівень термозахисту та використовуються у спеціалізованих комплектах екіпірування, зокрема для підрозділів швидкого реагування та саперів [17].

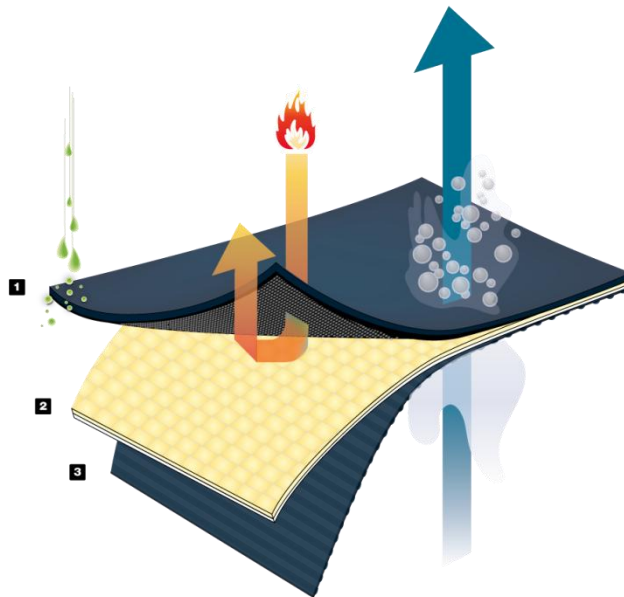


Рисунок 1.3 – Шарова конструкція захисної тканини з термобар’єром

Не менш важливим в умовах сучасного бою є маскувальні властивості, які повинні забезпечувати непомітність військовослужбовця у видимому та інфрачервоному спектрах. Матеріали з технологією IRR/NIR (Infrared Reflectance / Near Infrared) знижують теплову помітність і зменшують контраст між силуетом військового та навколишнім середовищем, що дозволяє ефективніше протидіяти тепловізійним приладам, дронам і сучасним системам виявлення. Такі властивості часто інтегруються у камуфляжні тканини типу NYCO, які, крім маскувальної здатності, вирізняються комфортом, повітропроникністю та достатньою стійкістю до вицвітання.

Одним із критично важливих параметрів військових тканин є стійкість до стирання та розриву, оскільки одяг військовослужбовців постійно контактує з

грунтом, камінням, технікою та спорядженням. У цій сфері одними з найефективніших матеріалів зарекомендували себе тканини Cordura, які завдяки високій щільності та структурі rip-stop забезпечують виняткову міцність, стійкість до стирання і механічних пошкоджень. Cordura використовується у виробництві елементів з підвищеним навантаженням – плітоносок, розвантажувальних систем, підсумків, наколінників, а також у посиленій військовій формі. Для додаткового підсилення міцності інколи застосовується Kevlar, який, маючи надвисоку міцність на розрив і низьку вагу, дозволяє значно підвищити зносостійкість окремих ділянок одягу або спорядження [19].

Важливе значення має також поєднання водонепроникності та повітропроникності, що забезпечує комфорт і збереження працездатності військовослужбовця в умовах опадів, вологості, спеки та різких температурних перепадів. Для захисту від вологи використовуються мембранні матеріали типу hardshell і softshell, які поєднують високу водонепроникність із можливістю відведення надлишкової вологи від тіла. У виробництві базових форм (повсякденних та польових комплектів) застосовуються тканини PolyCotton, які забезпечують оптимальний баланс між легкістю, міцністю та повітропроникністю.

Вимоги до військових тканин у сучасних бойових умовах полягають у необхідності забезпечення багатофункціональності та високого рівня захисту. Матеріали повинні бути стійкими до вогню, забезпечувати маскування в широкому спектрі, витримувати інтенсивні механічні навантаження та створювати комфортний мікроклімат. Використання таких високотехнологічних матеріалів, як Cordura, Nomex, Kevlar, NYCO, а також сучасних мембран та IRR-тканин, дозволяє суттєво підвищити якість військового одягу, забезпечити його довговічність та ефективність у реальних бойових умовах. Це створює основу для розроблення інноваційних комплектів обмундирування, що відповідають вимогам сучасних стандартів НАТО та провідних армій світу.

Зважаючи на високі вимоги до військового обмундирування, сучасні технології та матеріали повинні забезпечувати не лише фізичний захист, але й функціональність, що відповідає специфічним умовам бойових дій. Водночас,

розвиток та впровадження інноваційних технологій у виробництво військових тканин стає необхідністю для забезпечення ефективності та довговічності обмундирування, що відповідає вимогам сучасних армій, зокрема, НАТО.

Ключовими в цьому процесі є тканини, що характеризуються багатофункціональністю, поєднуючи кілька захисних властивостей в одному матеріалі. Наприклад, для забезпечення підвищеного захисту від механічних пошкоджень, води та вітру, використовуються комбіновані тканини, що включають матеріали з мембранами, які не тільки забезпечують водонепроникність, але й дозволяють шкірі «дихати», підтримуючи комфорт військовослужбовця в різних кліматичних умовах. Такі тканини, як Gore-Tex і Softshell, є прикладом мембранних матеріалів, що ідеально підходять для обмундирування, яке експлуатується в умовах дощових чи вітряних погодних умов [23].

Не менш важливим є розвиток технологій, які дозволяють забезпечити високу стійкість військового одягу до різноманітних хімічних, біологічних та радіаційних впливів. У зв'язку з цим проводяться дослідження та розробки тканин, які мають спеціальну обробку для захисту від токсичних речовин, біологічних агентів і радіаційних впливів. Використання таких матеріалів є необхідним для специфічних підрозділів, які можуть опинитися в умовах використання зброї масового ураження.

Використання високотехнологічних матеріалів у виробництві військового одягу дозволяє значно поліпшити не лише захисні характеристики, але й комфорт військовослужбовців, знижуючи рівень втоми, зменшуючи ризик перегріву чи переохолодження, а також підвищуючи загальну ефективність виконання бойових завдань. Поглиблене вивчення та використання інноваційних матеріалів на основі нанотехнологій, зокрема для створення матеріалів з підвищеною стійкістю до ультрафіолетового випромінювання та зменшеного теплового сліду, відкриває нові перспективи для розробки ще більш ефективних комплектів обмундирування.

Останнім часом в армійському обмундируванні активно використовуються тканини, які включають в себе компоненти з мембранними властивостями, що дозволяють тканині бути водонепроникною, при цьому залишаючи високу

повітропроникність. Ці матеріали активно використовуються у розробці тактичних курток, штанів, а також в інших елементах бойового одягу, що використовуються в польових умовах. Мембранні тканини, в свою чергу, гарантують оптимальний мікроклімат для тіла в умовах змінної температури, підвищеної вологості чи низьких температур, що робить військовий одяг комфортним і ефективним у будь-яких умовах.

Враховуючи сучасні вимоги до якості та надійності, інноваційні технології в обробці тканин і розвитку нових матеріалів є ключем до підвищення якості військового одягу, а також забезпечення максимального рівня комфорту та безпеки військовослужбовців на полі бою. Усе це є основою для створення обмундирування, що відповідає найсуворішим вимогам не лише до тактичної ефективності, а й до стійкості та довговічності матеріалів, що забезпечують максимальний захист у найскладніших умовах. Тому вдосконалення технологій виробництва та використання новітніх матеріалів стає надзвичайно важливим для розвитку військової індустрії в усьому світі, зокрема в Україні.

Тому, враховуючи актуальні технології та наукові досягнення в області матеріалознавства, подальше удосконалення військових тканин та комплектів обмундирування сприятиме покращенню ефективності та боєздатності збройних сил, забезпечуючи безпеку, комфорт і захист для військовослужбовців у будь-яких умовах.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ СИРОВИНИ

### 2.1 Послідовність етапів виробництва військового одягу

Виробництво військового одягу – це складний технологічний процес, який включає кілька важливих етапів від вибору та перевірки сировини до кінцевого тестування готової продукції. Висока якість, зносостійкість і відповідність стандартам є ключовими критеріями при виготовленні військової форми.

Для військового одягу використовують високоміцні та спеціалізовані тканини, які повинні відповідати стандартам ISO, ДСТУ, NATO STANAG. Основні матеріали, що використовують для виробництва військового одягу це бавовняні та змішані тканини (з поліестером або нейлоном), які забезпечують комфорт і довговічність. Також використовують арамідні тканини (Kevlar, Nomex) для вогнетривких елементів форми та мембранні тканини (Gore-Tex, Softshell) для захисту від вологи та вітру.

Обов'язковим є вхідний контроль якості матеріалів (рисунок 2.1). Перед початком виробництва проводять ретельний контроль сировини, включаючи перевірку міцності (тест на розрив, стирання, згинання), тестування водонепроникності та вітрозахисту (ISO 811, EN 343) та аналіз складу тканин та токсичних речовин (ISO 17075). Якщо матеріали не відповідають нормам, їх повертають постачальнику або проходять додаткову обробку [24].



Рисунок 2.1 – Ділянка контролю якості

Наступним етапом у виробництві військового одягу є розробка дизайну та конструювання виробів. На етапі проєктування військового одягу створюють креслення та цифрові 3D-моделі військової форми з урахуванням вимог ергономіки, функціональності та маскуванню. Аналізують умови експлуатації (клімат, рівень фізичних навантажень) та враховується модульність одягу (сумісність із бронежилетами, тактичними ременями). Підбирають оптимальне розташування кишень, кріплень, вентиляційних зон.

Після затвердження дизайну створюють лекала для розкрою тканини. Це може бути ручне конструювання – традиційний метод та автоматизоване 3D-моделювання – використання комп'ютерних програм (CLO 3D, Optitex).

Після створення лекал тканину розкроюють відповідно до дизайну виробу.

Методи розкрою поділяються на:

- ручний – використовують для невеликих партій або спеціальних замовлень;
- лазерний – забезпечує точність та мінімізує втрати матеріалу;
- автоматизований (CNC-різка) – комп'ютеризована технологія для масового виробництва.

Додатково можуть бути вирізані посилені деталі (на коліна, лікті, плечі) та маскувальні вставки.

Наступним етапом є підготовка та обробка деталей. Для обробки швів та армування використовують посилені нитки (поліамідні, кевларові) та додаткове армування критичних зон (коліна, лікті, плечі), здійснюється просочення антибактеріальними речовинами для зменшення запахів та бактерій.

Деякі матеріали проходять додаткові процеси, такі як вогнестійка обробка (ISO 15025, ASTM D6413), водовідштовхувальне покриття (DWR), антистатична обробка – для зменшення накопичення електричних зарядів.

Основний виробничий процес, пошиття військового одягу, включає зшивання основних елементів (ручне або автоматичне), впровадження додаткових підсилень (подвійні шви, міцні застібки) та пришивання кишень, ременів, липучок.

Для пошиття використовують промислові швейні машини, що працюють з армованими тканинами.

Завершальним етапом є фінальна обробка та комплектація. Після пошиття форма проходить додаткові обробки: термофіксацію – для стабілізації тканини, пресування та формування складок, нанесення камуфляжних покриттів (якщо потрібно).

Також додають шеврони, нашивки, військові позначки, застібки, блискавки, липучки (Velcro).

Перед тим як форма потрапить у військові частини, здійснюють тестувань, контроль якості готової продукції. Форма проходить випробування на міцність, а саме тест на розривну силу (ISO 13934-1) та перевірка стійкості до стирання (Мартиндейл-тест).

Здійснюють функціональні тести, форма проходить перевірку водонепроникності (ISO 811), оцінку маскувальних властивостей (STANAG 2333), тестування на терmostійкість (ISO 15025).

Ергономічне тестування включає військові випробування у польових умовах та аналіз зручності носіння, вентиляції, гнучкості матеріалів.

Після виконання усіх перевірок, форму упаковують та надсилають до складів військових частин.

Далі одяг транспортують військовим частинам, складам забезпечення та іншим підрозділам, де військовослужбовці отримують комплекти відповідно до розмірної сітки та потреб.

Процес виробництва військового одягу включає складні етапи контролю, проектування, пошиття та тестування. Основними критеріями якості є міцність, захисні властивості, комфорт та відповідність військовим стандартам. Використання сучасних технологій (3D-моделювання, лазерний розкрій, автоматизовані тестування) дозволяє створювати надійну військову форму, яка забезпечує безпеку та ефективність військовослужбовців у будь-яких умовах [25, 26].

## 2.2 Аналіз технологічного процесу перевірки якості матеріалів

Контроль якості матеріалів для військового одягу є важливим технологічним процесом, який гарантує, що сировина відповідає встановленим стандартам та забезпечує надійність, зносостійкість і захисні властивості готової продукції.

Технологічний процес перевірки якості матеріалів включає вхідний контроль сировини, лабораторні випробування, перевірку виробничого процесу та контроль готової продукції.

Перед початком виробництва проводять вхідний контроль сировини, де здійснюють перевірку всіх отриманих матеріалів, щоб уникнути використання неякісної сировини.

Першим етапом є документальна перевірка. Здійснюють перевірку сертифікатів відповідності постачальника, аналіз паспортів якості тканини, ниток, фурнітури, оцінка відповідності матеріалів стандартам ISO, ДСТУ, НАТО STANAG.

При візуальному огляді та перевірці на дефекти оглядають тканин на відсутність плям, розривів, нерівностей, здійснюють контроль рівномірності фарбування та текстури матеріалу, відбувається перевірка якісного нанесення камуфляжного покриття.

При вимірюванні фізичних параметрів оцінюють товщину матеріалу, яка повинна відповідати заданим стандартам (ISO 5084), щільність тканини – вимірюють за методикою ISO 3801 вага матеріалу, яка повинна відповідати нормам для конкретного типу військового одягу. Якщо матеріал не відповідає вимогам, постачальник зобов'язаний замінити партію або виправити дефекти.

Для підтвердження відповідності матеріалів військовим стандартам здійснюють комплекс спеціалізованих випробувань. Насамперед проводять тести на міцність та зносостійкість. Розривну міцність визначають методом розриву зразка тканини відповідно до стандартів ISO 13934-1 та ASTM D5034. Стійкість до стирання оцінюють за методом Мартиндейла (ISO 12947-2), а опірність розриву під час згинання перевіряють згідно з ISO 7854. Додатково здійснюють контроль якості

швів, під час якого перевіряють стійкість ниток і швів до механічного навантаження та їхню здатність зберігати цілісність під час експлуатації [27].

Важливим елементом контролю є оцінювання захисних властивостей матеріалу. Вогнестійкість визначають за стандартами ISO 15025 та ASTM D6413, де матеріал піддається короткочасному впливу відкритого полум'я. Водонепроникність тестують методом ISO 811, під час якого зразок перевіряється під дією зростаючого тиску водяного стовпа. Вітростійкість визначають згідно зі стандартами EN 343 та ISO 11092, що дає змогу оцінити проникність повітря крізь матеріал.

Окрему групу становлять випробування, пов'язані з камуфляжними та тактичними властивостями. До них належать визначення стійкості до ультрафіолетового випромінювання (ISO 105-B02), оцінювання відбивання інфрачервоного випромінювання відповідно до вимог STANAG 2333, а також перевірка колірної стійкості після багаторазового прання згідно зі стандартом ISO 105-C06. Якщо матеріал не проходить хоча б один із визначених тестів, його відбраковують або направляють на додаткову технологічну обробку для досягнення необхідних показників якості [28].

Під час пошиття військового одягу проводять перевірку якості на кожному етапі, здійснюють контроль виробничого процесу

При перевірці контролю точності розкрою використовуються автоматизовані системи розкрою (CNC-різка, лазерний розкрій) та вимірюють точність деталей за допомогою 3D-сканерів.

Перевірка якості швів включає ручний контроль операторами, використання спеціальних тестів на міцність зшивання та гідроізоляційну перевірку швів для мембранних тканин.

При контролі фурнітури здійснюють тестування блискавок, липучок (Velcro), гудзиків на стійкість до навантажень та проводять випробування стійкості фурнітури до температурних перепадів та вологи.

Після завершення виробництва кожна партія проходить кінцевий контроль якості, який включає фізичні, експлуатаційні та польові випробування. Перевірка

готової продукції здійснюють за допомогою фізичного контролю готового виробу, тобто відбувається огляд відповідності розмірів (ISO 5077), перевіряють відповідність конструкції виробу стандартам, здійснюють випробування на стабільність кольору та деформацію після прання.

Польові випробування військового одягу включають тестування у реальних умовах (різні температури, погодні умови), аналіз зручності носіння, вентиляції, ергономічності, також перевіряється стійкість тканини до тертя під час носіння спорядження (бронезилетів, ременів, рюкзаків).

Перед постачанням здійснюють вибірковий контроль від 5 до 10 % виробів із партії. Якщо знаходять відхилення більше 3 %, перевіряють усю партію.

Обов'язковим етапом є документальне оформлення якості. Після всіх тестів кожна партія військової форми отримує:

- сертифікат відповідності (ISO, ДСТУ, STANAG);
- протоколи випробувань лабораторії;
- звіти про контроль якості.

Процес перевірки якості військових матеріалів складається з багаторівневої системи контролю, яка включає вхідний огляд сировини, лабораторні випробування, контроль виробничого процесу та фінальне тестування готової продукції. Використання сучасних методів (лазерне тестування, спектральний аналіз, 3D-сканування, штучний інтелект для пошуку дефектів) дозволяє підвищити точність контролю та забезпечити високу якість військового одягу, що відповідає світовим стандартам.

### 2.3 Методи ідентифікації дефектів та їх усунення у виробництві військового одягу

Процес виробництва військового одягу передбачає багаторівневий та ретельно організований контроль якості, спрямований на запобігання дефектам, що можуть негативно вплинути на функціональність, довговічність і захисні властивості матеріалів. Дефекти можуть виникати на будь-якому етапі

технологічного циклу – від постачання сировини до виготовлення готового виробу. Своєчасне виявлення та усунення таких дефектів є ключовою умовою забезпечення високого рівня надійності військового екіпірування.

Дефекти, характерні для військового одягу, умовно поділяють на кілька основних груп. До дефектів текстильних матеріалів зараховують тканинні недоліки, які проявляються у вигляді нерівномірного переплетення волокон, ослаблених ділянок або локальних розривів; фарбувальні дефекти, що включають неоднорідність кольору та вицвітання після багаторазового прання; дефекти водонепроникності, пов'язані з недостатньою стійкістю до вологи або нерівномірним нанесенням мембранного покриття; а також дефекти вогнестійкості, що виникають у разі неправильної або недостатньої обробки спеціальними вогнезахисними речовинами. Друга категорія охоплює дефекти розкрою та пошиття: неправильний розкрій, невідповідність деталей кресленням, порушення якості швів, пропущені стібки, використання неякісних ниток чи неточності у посадці виробу. До дефектів фурнітури належать проблеми з якістю застібок, липучок, кнопок, блискавок, а також ненадійність кріплення кишень, шевронів і додаткових конструктивних елементів. Окрему групу становлять дефекти, що проявляються під час експлуатації, зокрема прискорене зношування матеріалу, втрата камуфляжних властивостей після прання, деформація тканини внаслідок механічних навантажень.

Сучасні методи контролю якості дають змогу ефективно виявляти зазначені дефекти на ранніх стадіях виробництва, що істотно зменшує кількість браку та підвищує якість готової продукції. Поширеним є візуальний контроль, який проводять під час приймання сировини та після завершення пошиття; він передбачає огляд тканини на наявність механічних пошкоджень, нерівномірності забарвлення, пропущених стібків, а також застосування лінійок контролю якості для визначення допустимих відхилень у текстурі та кольорі матеріалів. До оптичних методів контролю належать лазерне сканування, що дає змогу виявити мікроефекти структури волокон; мікроскопічний аналіз, який використовується для оцінювання однорідності волоконної структури та якості фарбування; а також

гіперспектральний аналіз, який виявляє приховані механічні пошкодження або дефекти, непомітні для людського ока [22].

Контроль механічної міцності матеріалів здійснюють за допомогою низки стандартизованих тестів. Розривальний тест (ISO 13934-1, ASTM D5034) визначає міцність тканини на розрив, Мартиндейловий тест (ISO 12947-2) оцінює її зносостійкість, а тест на стійкість до розтягнення (ISO 7854) визначає еластичність та опірність згинальним навантаженням. Для оцінювання водо- та вогнестійкості використовують тести, що визначають рівень стійкості матеріалу до впливу вологи (ISO 811) і здатність протистояти короткочасному впливу відкритого полум'я. Застосування комплексу таких методів забезпечує всебічну оцінку властивостей матеріалів і гарантує високу якість військового одягу, що Контроль якості військового одягу є комплексним процесом, орієнтованим на забезпечення відповідності продукції сучасним стандартам надійності, безпеки й експлуатаційної ефективності. Одним із ключових елементів контролю є випробування матеріалів на вогнестійкість, що проводять відповідно до вимог ISO 15025 та ASTM D6413. Цей тест визначає здатність тканини протистояти короткочасному впливу відкритого полум'я та оцінює поширення полум'я, час догорання та утворення пошкоджень. Застосування таких методик дає змогу виявити недоліки обробки матеріалів на ранніх етапах і забезпечити відповідність одягу вимогам безпеки в умовах бойових дій і навчань.

Серед сучасних високотехнологічних методів контролю якості важливе місце займають автоматизовані системи. Комп'ютерне сканування тканини дозволяє виявляти приховані дефекти структури ще на стадії виготовлення текстильних матеріалів, що мінімізує ризики потрапляння неякісної сировини на швейний етап. Використання систем штучного інтелекту дає змогу аналізувати відхилення у кольорі, текстурі, щільності та складі тканини з високою точністю, що особливо актуально для контролю камуфляжних та технічних тканин. Крім того, 3D-сканери дозволяють перевіряти правильність розкрою та відповідність форми антропометричним параметрам шляхом моделювання посадки на манекенах або цифрових аватарах, що значно підвищує точність виготовлення готових виробів.

У разі виявлення дефектів застосовують різні механізми їх усунення залежно від характеру порушення. Корекція дефектів текстильних матеріалів включає локальну заміну пошкоджених ділянок тканини, додаткове просочення водовідштовхувальними та вогнестійкими складами, а також перефарбування або повторне нанесення камуфляжного покриття у випадку нерівномірності кольору чи втрати маскувальних властивостей. Метод усунення дефектів пошиття передбачає перешивання окремих ділянок виробу, усунення неправильних швів, заміну неякісних ниток, застосування посиленних технологій зшивання та корекцію натягу ниток на автоматизованих швейних машинах. виправлення дефектів фурнітури включає заміну блискавок, кнопок, липучок, а також перевірку та підсилення технології їх кріплення для запобігання передчасному виходу з ладу. Крім того, контролюється відповідність виробу розмірній сітці: у випадку виявлення відхилень здійснюють корекцію лекал та повторний контроль точності розкрою.

Окрему увагу приділяють відновленню камуфляжних та тактичних властивостей. За необхідності проводять повторне нанесення інфрачервоного поглинаючого шару відповідно до STANAG 2333, а також виконують перевірку термостійкості, оптичної стабільності та маскувальних характеристик в умовах різного освітлення. Це забезпечує відповідність виробів вимогам сучасних бойових підрозділів та сприяє підвищенню їхнього рівня захищеності.

Для зменшення кількості браку у виробництві військового одягу застосовують комплекс попереджувальних заходів. До них належать використання автоматизованих систем раннього виявлення відхилень, навчання персоналу сучасним технологіям пошиття й обробки тканин, впровадження високоточного обладнання для розкрою та зшивання, а також регулярна перевірка постачальників сировини та фурнітури. Такий підхід дозволяє мінімізувати ймовірність виникнення дефектів у готових виробах та забезпечити стабільний рівень якості продукції.

Отже, процес ідентифікації дефектів військового одягу охоплює візуальні, оптичні, механічні та автоматизовані методи контролю, що дає змогу ефективно виявляти та усувати недоліки на різних етапах виробництва. Використання

інноваційних технологій – таких як лазерний аналіз, гіперспектральне сканування, 3D-моделювання та системи штучного інтелекту – істотно підвищує точність контролю та сприяє виробництву високоякісного військового екіпірування, яке відповідає сучасним стандартам та потребам Збройних Сил. На рисунку 2.2 наведено технологічну схему моніторингу якості сировини для військового одягу.

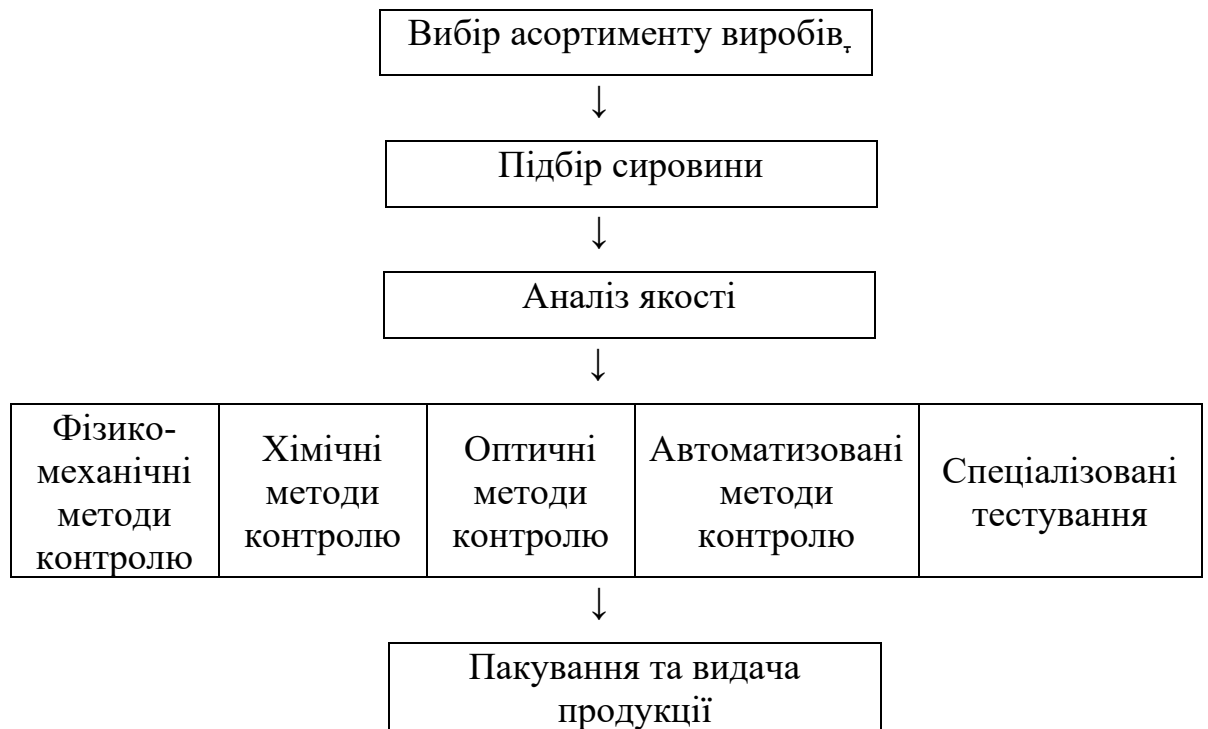


Рисунок 2.2 – Технологічна схема моніторингу якості сировини для військового одягу

#### 2.4 Використання інноваційних технологій у контролі якості

Сучасний контроль якості військового одягу потребує високої точності, швидкості перевірки та мінімізації людського фактору. Традиційні методи контролю (візуальний огляд, механічне тестування) не завжди дозволяють виявити дрібні дефекти або потенційні проблеми з матеріалами. Саме тому у виробництві активно використовують автоматизовані системи аналізу та штучний інтелект (ШІ), які підвищують ефективність контролю якості.

До автоматизованих систем контролю якості належать комп'ютеризований аналіз тканин. Використовують спеціальні сканери, які перевіряють матеріал на рівномірність переплетення волокон, щільність та можливі механічні пошкодження, лазерні датчики можуть виявити мікротріщини, ослаблені ділянки, нерівномірне фарбування, високоточні камери сканують матеріали та автоматично порівнюють їх із еталонними зразками.

Переваги даного контролю це зменшення кількості браку на ранніх етапах виробництва, автоматизоване виявлення дефектів, які непомітні для людського ока, прискорення процесу перевірки.

Існують лазерні та ультразвукові системи аналізу. Лазерне сканування використовують для перевірки точності крою та розмірів деталей одягу, а ультразвукові детектори виявляють невидимі пошкодження волокон, що можуть вплинути на довговічність тканини.

Цей метод аналізу дозволяє оцінити якість матеріалів без механічного впливу та має високу точність навіть для складних тканин (наприклад, арамідних або мембранних матеріалів).

Одним з методів є автоматизоване тестування механічних властивостей тканини. Для перевірки міцності, розривної здатності, стирання та еластичності застосовуються роботизовані випробувальні стенди. Системи проводять тести на згинання, розтягнення, тертя у режимі безперервного моніторингу. Використовують автоматичні Мартиндейл-тестери для оцінки зносостійкості тканин та спеціальні машини імітують умови експлуатації (наприклад, носіння рюкзака, тертя до бронежилету).

Серед переваг гарантована точність випробувань, прискорене тестування матеріалів та виявлення слабких місць ще до виробництва готових виробів.

Також використовують штучний інтелект у виявленні дефектів. Цей метод включає комп'ютерний зір для автоматичного пошуку дефектів.

Штучний інтелект використовує нейромережі для аналізу зображень матеріалів та виробів. Глибоке навчання (Deep Learning) дозволяє системі розпізнавати навіть мінімальні дефекти в текстурі тканини, а камери високої

роздільної здатності працюють у реальному часі, автоматично порівнюючи тканини з еталонними зразками. ШІ виявляє нерівномірність кольору, неправильне переплетення волокон, мікроскопічні пошкодження тканини.

Серед переваг даного методу мінімізування впливу людського фактору. Також даний метод дозволяє виявляти дефекти на ранніх стадіях, що знижує витрати на виправлення помилок і може працювати в автоматичному режимі 24/7.

Можливе прогнозування зносу та пошкоджень. Штучний інтелект аналізує результати тестувань і прогнозує термін служби тканини та завдяки машинному навчанню система може визначити потенційно слабкі місця у конструкції військової форми.

Перевагами є покращення дизайну військової форми, довговічності, також допомагає оцінити економічну ефективність використання різних матеріалів.

Інтелектуальні системи контролю у виробничих лініях. Використовують роботизовані маніпулятори, які перевіряють точність пошиття, міцність швів, правильність пришивання фурнітури, а камери з штучним інтелектом контролюють точність вирізання деталей та правильність посадки виробу.

Серед переваг слід зазначити, що автоматизація перевірки зменшує ризик помилок працівників та підвищує швидкість контролю без втрати якості.

Варто згадати про інтернет речей (IoT) та блокчейн у контролі якості. Виробничі компанії впроваджують датчики, які реєструють стан тканин під час виробництва. IoT-системи можуть контролювати температуру, вологість та механічне навантаження на тканину.

Це дозволяє оперативно виявляти порушення у технологічному процесі та підвищує стабільність якості виробництва.

Також слід зазначити про використання блокчейну для контролю автентичності матеріалів. Блокчейн-технології дозволяють фіксувати інформацію про кожен етап виробництва військової форми. Дані про постачання сировини, лабораторні тестування, контроль виробництва зберігають у захищеній цифровій базі.

Перевагою є запобігання підробкам військового екіпірування і це дозволяє простежити весь ланцюг виробництва та швидко виявити проблемні ділянки.

3D-сканери для перевірки точності крою використовують для контролю точності розкрою тканини та правильності лекал, дозволяють автоматично перевіряти відповідність деталей кресленням.

Даний метод забезпечує 100 % точність викрійок та скорочує відходи матеріалів.

Використання інноваційних технологій (ШІ, автоматизованих сканерів, IoT, 3D-аналізу, блокчейну) значно підвищує якість військового одягу. Завдяки цим технологіям можна швидко і точно ідентифікувати дефекти, прогнозувати довговічність тканин та мінімізувати виробничі втрати. Сучасні методи дозволяють автоматизувати контроль якості, зробити його ефективним, швидким та максимально точним, що особливо важливо для військового екіпірування, яке має відповідати найвищим стандартам безпеки та надійності.

## 2.5. Система відстежуваності сировини, EMEA-аналіз

Система відстежуваності сировини є важливим елементом сучасного виробничого процесу, що забезпечує контроль якості на всіх етапах виготовлення військового одягу – від отримання матеріалів до формування готового виробу. В основі *traceability* лежить чітка ідентифікація та документування даних про кожну партію сировини. Застосування маркування рулонів і партій дозволяє оперативно визначати походження матеріалу, дату його виготовлення, технологічні параметри та умови транспортування, що мінімізує ризики використання неякісної чи фальсифікованої продукції.

Важливим інструментом підвищення ефективності системи відстежуваності є впровадження QR-кодів і цифрових паспортів матеріалів. QR-коди містять розширені відомості про характеристики тканини, результати лабораторних випробувань, відповідність стандартам та інформацію про виробника. Це

забезпечує швидкий та зручний доступ до необхідних даних під час інспекції або перевірки матеріалів у виробничому процесі [30, 31].

Цифрові паспорти формують комплексний профіль матеріалу – від походження та технології виготовлення до ключових експлуатаційних властивостей. Така форма документації дає змогу повністю відстежувати рух сировини на всіх етапах логістичного та виробничого ланцюга: від виробника волокон і тканин до складу готового військового одягу. Це дозволяє своєчасно виявляти дефекти, контролювати відповідність стандартам, оптимізувати складські процеси та запобігати випуску бракованих виробів.

Упровадження системи відстежуваності сприяє підвищенню прозорості, відповідальності постачальників і підрядників, а також забезпечує стабільність якості продукції оборонного призначення. Для військового одягу, де надійність і безпека є критично важливими, *traceability* виступає одним із ключових компонентів ефективної системи управління якістю.

Методика FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) є сучасним і широко визнаним інструментом оцінки ризиків у виробничих процесах, що дозволяє системно ідентифікувати потенційні дефекти матеріалів і виробів, оцінювати їхні наслідки та пріоритизувати проблеми для своєчасного усунення. У контексті виробництва військового одягу застосування FMEA дозволяє підвищити надійність продукції та зменшити ймовірність браку на етапі виготовлення та експлуатації.

Процес FMEA включає кілька ключових етапів. Першим є визначення потенційних дефектів, що можуть виникнути на всіх стадіях виробництва – від постачання сировини до готового виробу. Це можуть бути механічні пошкодження тканин, порушення технологічного процесу, невідповідність стандартам або проблеми з фурнітурою та комплектуючими. Другий етап полягає у оцінці ризику дефектів за трьома критеріями: тяжкість наслідків для експлуатації виробу, ймовірність виникнення дефекту та здатність його виявлення на ранніх етапах. Комбінування цих показників дозволяє обчислити індекс ризику (RPN – Risk Priority Number) для кожного потенційного дефекту, що є основою для пріоритизації заходів.

Третій етап – пріоритизація проблем – дозволяє визначити найбільш критичні дефекти, які потребують негайного усунення або впровадження коригувальних заходів. Це забезпечує ефективне використання ресурсів, дозволяє запобігти появі браку у готовій продукції та мінімізувати витрати на повторні перевірки та виправлення дефектів.

Впровадження FMEA у виробництво військового одягу підвищує наукову цінність роботи, оскільки дозволяє не лише системно оцінювати ризики, а й формувати обґрунтовані рекомендації щодо вдосконалення процесу контролю якості, підвищення надійності матеріалів та оптимізації витрат. Методика також сприяє гармонізації національних виробничих стандартів із міжнародними підходами до управління якістю, що особливо актуально для оборонної промисловості.

### 3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ

#### 3.1 Оцінка економічної ефективності моніторингу якості у виробництві військового одягу

Економічна ефективність моніторингу якості – це співвідношення витрат на контроль якості та економії, отриманої завдяки зниженню браку, зменшенню витрат на заміну продукції та підвищенню ефективності виробництва. Впровадження якісного моніторингу дозволяє оптимізувати виробничі процеси, знизити непрямі втрати та підвищити довгострокову рентабельність підприємства.

До основних факторів економічної ефективності моніторингу якості належать:

Витрати на контроль якості. Моніторинг якості включає кілька рівнів витрат, а саме закупівля та тестування сировини (до 10 % собівартості виробу), витрати на контроль у виробництві (перевірка розкрою, швів, обробки тканин), фінальне тестування продукції (перевірка водонепроникності, міцності, вогнестійкості) та витрати на персонал, який займається перевіркою, інвестиції в автоматизовані системи контролю.

Витрати, пов'язані з браком та дефектами. Якщо контроль якості слабкий, підприємство може зазнати значних фінансових втрат через виробничий брак (дефектна продукція, що не може бути продана або використана), повернення товару та штрафи через невідповідність стандартам, ремонт або заміна продукції за гарантією, втрати репутації та ризик втрати державних замовлень.

Економія від якісного моніторингу. Інвестиції у моніторинг дозволяють знизити відсоток браку (від 15 % до 2 %), скоротити витрати на ремонт і заміну дефектної продукції, збільшити строк служби продукції, що зменшує витрати на повторні замовлення та підвищити продуктивність за рахунок швидкого виявлення проблем. Аналіз витрат та економії у виробництві військового одягу наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз витрат та економії у виробництві військового одягу

Показник	Без ефективного моніторингу	З якісним моніторингом	Економія, грн
Витрати на тестування сировини, грн	50,000	70,000	20,000
Витрати на контроль у виробництві, грн	100,000	80,000	20,000
Витрати через брак, %	12 %	3 %	90,000 грн
Витрати на ремонт та заміну, грн	200,000	100,000	100,000
Витрати через втрату контрактів, грн	500,000	0	500,000
Загальні витрати на контроль, грн	850,000	250,000	600,000 економії

Загальна економія після впровадження якісного моніторингу – до 70% від витрат на усунення дефектів.

Окупність автоматизованого контролю якості. Інвестиції у автоматизовані системи контролю (ШІ, лазерне сканування, комп'ютерний зір) мають високу вартість впровадження, але швидко окупаються за рахунок зменшення браку та витрат на перевірку.

Автоматизовані системи контролю окупаються протягом 1 року та забезпечують економію понад 700,000 щорічно.

До довгострокових економічних переваг моніторингу якості належать:

- зменшення витрат на сировину – точний контроль дозволяє використовувати матеріали ефективніше;
- підвищення терміну служби продукції – менше витрат на повторні замовлення та ремонт;

- стабільність контрактів – відповідність стандартам забезпечує довготривалі замовлення;
- збільшення прибутковості – ефективний моніторинг дозволяє скоротити загальні виробничі витрати до 30%.

У таблиці 3.2 наведено розрахунок окупності автоматизованих систем.

Таблиця 3.2 – Розрахунок окупності автоматизованих систем

Фактор	Витрати без автоматизації	Витрати після автоматизації	Економія
Витрати на контроль персоналом, грн	150,000	50,000	100,000
Витрати на виправлення браку, грн	200,000	60,000	140,000
Втрати через повернення товару, грн	500,000	0	500,000
Загальна економія на рік, грн	-	-	740,000
Вартість впровадження автоматизації, грн	-	600,000	-
Окупність інвестицій (у роках)	-	до 1 року	-

Оцінка економічної ефективності показує, що інвестиції в якісний моніторинг окупаються від 1 до 2 років, а подальша економія становить до 70 % від загальних витрат на контроль і ремонт.

Автоматизовані системи моніторингу є найбільш ефективними, оскільки вони зменшують брак з 12 % до 3 %, скорочують витрати на персонал, запобігають поверненню продукції та штрафам та підвищують довговічність форми, що знижує витрати на її заміну.

Впровадження сучасних технологій у контроль якості – це стратегічне рішення, яке забезпечує економічну ефективність та конкурентоспроможність підприємства.

### 3.2 Вплив якості сировини на кінцеву вартість виробництва військового одягу

Якість сировини є одним із ключових факторів, що впливає на собівартість виробництва військового одягу. Високоякісні матеріали забезпечують зносостійкість, функціональність і комфорт, але можуть значно підвищувати початкові витрати. З іншого боку, використання дешевих або неякісних матеріалів призводить до збільшення витрат на брак, гарантійне обслуговування, заміну продукції, що у довгостроковій перспективі може виявитися дорожчим.

До основних аспектів впливу якості сировини на вартість виробництва належить:

Закупівельна вартість матеріалів. Високоякісні тканини (арамідні, мембранні, багатошарові композитні матеріали) мають високу вартість через складність виробництва та відповідність військовим стандартам (ISO, STANAG, ДСТУ). Дешеві матеріали (бавовняно-поліестерні суміші без додаткової обробки) значно зменшують витрати, але можуть не відповідати військовим вимогам. Чим вища якість сировини, тим вища початкова вартість закупівлі, але знижується ризик додаткових витрат на заміну та ремонт виробів.

Витрати на контроль якості та тестування. Високоякісні матеріали проходять мінімальну кількість перевірок, оскільки їхні характеристики гарантовані виробником. Дешеві тканини потребують додаткових тестувань, що збільшує витрати на лабораторний контроль, тестування на міцність, стійкість до зношування, горючість. Використання надійної сировини знижує потребу у багаторівневому контролі якості.

У таблиці 3.3 наведено порівняльний аналіз економічної ефективності різних типів сировини.

Таблиця 3.3 – Порівняльний аналіз економічної ефективності різних типів сировини

Параметр	Високоякісна сировина (арамідні, мембранні тканини)	Середня якість (бавовна + поліестер, стандартні тканини)	Низькоякісна сировина (дешеві текстильні матеріали)
Закупівельна ціна	Висока від 30 до 50% до собівартості	Середня (бюджетний варіант)	Низька (економія на матеріалах)
Витрати на контроль	Низькі (мінімальна перевірка)	Середні (необхідне тестування)	Високі (часті дефекти, додаткові тести)
Виробничі витрати	Низькі (легка обробка, менше браку)	Середні (потребує доопрацювання)	Високі (проблеми з розкромом, швами)
Відсоток браку	від 2 до 5 %	від 10 до 15 %	від 20 до 30 %
Стійкість в експлуатації	Висока від 3 до 5 років служби	Середня від 2 до 3 років	Низька від 1 до 2 років, швидке зношування
Витрати на заміну	Низькі (разове вкладення)	Середні (необхідна періодична заміна)	Високі (постійні витрати на нову форму)
Довгострокові витрати	Економія (менше закупівель і ремонту)	Середні	Високі (постійна закупівля нової форми)

Високоякісні тканини зазвичай легше обробляють, мають стабільні характеристики, що скорочує час пошиття та обробки. Низькоякісні матеріали

можуть вимагати додаткової обробки (просочення водовідштовхувальними або вогнестійкими розчинами), що збільшує витрати. Погана якість сировини призводить до частих поломок обладнання через низьку міцність волокон або нерівномірну текстуру. Якісні матеріали скорочують час виробництва та знижують витрати на обробку.

Відсоток браку та додаткові витрати. Дешеві матеріали можуть мати високий відсоток браку (розриви, втрата кольору, низька міцність швів). Кожен бракований виріб збільшує витрати на виправлення дефектів, повторне виробництво, відшкодування втрат. При використанні якісної сировини відсоток браку значно нижчий, що зменшує непрямі витрати. Економія на матеріалах призводить до більших втрат через високий відсоток браку.

Довговічність продукції та витрати на обслуговування. Якісні матеріали забезпечують тривалий термін служби військової форми від 3 до 5 років, що зменшує необхідність у частій заміні. Дешеві тканини швидко зношуються від 1 до 2 років, що призводить до частих додаткових закупівель і повторних витрат. Військові стандарти НАТО (STANAG 2920) вимагають стійкості до погодних умов, механічних навантажень, впливу хімічних речовин, що дешеві матеріали не можуть забезпечити. Використання якісних матеріалів зменшує витрати на ремонт і заміну форми [26].

Вплив на репутацію виробника. Поставка низькоякісної продукції може призвести до штрафів, розірвання контрактів, втрати державних замовлень. Високоякісні вироби формують надійну репутацію компанії, що відкриває нові можливості для експорту та співпраці з міжнародними партнерами. Економія на якості сировини може негативно вплинути на майбутні контракти та прибутковість компанії.

За даними таблиці 3.3 можна зробити висновок, що якість сировини безпосередньо впливає на кінцеву вартість виробництва військового одягу. Хоча високоякісні матеріали мають вищу початкову вартість, вони забезпечують менший відсоток браку, економію на ремонті та заміні, підвищують репутацію виробника. З іншого боку, використання дешевих матеріалів може знизити

початкові витрати, але у довгостроковій перспективі призводить до більших фінансових втрат через часті ремонти, бракування продукції, втрату контрактів та скарги військових [32].

Оптимальна стратегія – використовувати матеріали, які відповідають міжнародним стандартам якості, навіть якщо вони дорожчі, оскільки це забезпечує економічну ефективність у довгостроковій перспективі.

### 3.3 Аналіз витрат на контроль якості та його ефективність запобіганню дефектам у виробництві військового одягу

Контроль якості є невід’ємною частиною виробництва військового одягу, оскільки від нього залежить довговічність, захисні характеристики та функціональність продукції. Однак контроль якості вимагає додаткових витрат, які можуть значно збільшити собівартість виробництва. Водночас ефективний контроль дозволяє запобігати дефектам, що у довгостроковій перспективі зменшує фінансові втрати через повернення бракованої продукції, ремонт, гарантійне обслуговування та штрафи за невідповідність стандартам.

До основних складових витрат на контроль якості належить:

Витрати на лабораторні дослідження матеріалів. Перед початком виробництва проводять тестування сировини. Здійснюють механічні випробування (міцність, стирання, гнучкість) – тест Мартиндейла (ISO 12947-2), розривний тест (ISO 13934-1), фізико-хімічні дослідження (водонепроникність, вогнестійкість, хімічна стійкість) – тест на вогнестійкість (ISO 15025), водонепроникність (ISO 811) та оптичний аналіз (перевірка переплетення волокон, рівномірність фарбування, маскувальні властивості).

Середня вартість лабораторних тестів на 1000 м<sup>2</sup> тканини може становити від 1000 до 5000 грн. залежно від рівня досліджень. Проведення лабораторних тестувань запобігає використанню неякісної сировини, що може спричинити брак від 20 до 30 % продукції.

Витрати на контроль у виробничому процесі. На етапі виробництва військового одягу здійснюється візуальний огляд матеріалів та комплектуючих перед початком пошиття, перевірка точності розкрою за допомогою лазерних сканерів, автоматизовані системи контролю якості швів (оптичні сенсори, механічні випробування) та ручний контроль операторів на ключових етапах виробництва. Витрати на контроль у виробництві можуть становити від 3% до 7% загальної собівартості. Запобігання дефектам на стадії пошиття дозволяє уникнути від 10 до 15 % браку, що зменшує витрати матеріалів і часу.

Витрати на контроль готової продукції. Після завершення виробництва кожен виріб проходить перевірку на відповідність стандартам. Проводять фізичні випробування готових виробів (міцність швів, стійкість до розтягування), польові тестування (експлуатація військовими у різних умовах), тестування на відповідність маскувальним характеристикам (STANAG 2333) та перевірку стійкості після прання та механічного впливу. Середня вартість тестування однієї партії (1000 виробів) може становити від 5000 до 10000 грн. Виявлення дефектів перед відправкою знижує витрати на повернення продукції та гарантійне обслуговування від 20 до 30 %. Якщо контроль якості є недостатнім або відсутнім, виробник має значні фінансові втрати. У разі виявлення дефектів на етапі виробництва потрібен ремонт або заміна матеріалу, що збільшує витрати на від 5 до 15 %. Однак брак виявлено після відправки військовим частинам, це може призвести до повернення партії, що збільшує витрати на логістику, переробку, штрафи. Наприклад: повернення партії у 1000 комплектів через дефекти може коштувати виробнику від 50000 до 100000 грн. Економія від запобігання дефектам та інвестиції в контроль якості наведена у таблиці 3.4.

Наявність ефективного контролю дозволяє знизити ризик масового браку до 5 %, що значно зменшує можливі втрати.

Вплив дефектів на довгострокові витрати. Якщо військова форма має низьку якість, то частота заміни збільшується від 2 до 3 разів, а витрати на ремонт та коригування можуть складати до 30 % від загальних витрат на виробництво.

Якщо продукція не відповідає військовим стандартам, виробник може втратити державне замовлення на мільйони доларів.

Якісний контроль дозволяє скоротити витрати на гарантійне обслуговування та часту заміну продукції від 40 до 50 %.

Таблиця 3.4 – Економія від запобігання дефектам та інвестиції в контроль якості

Фактор	Витрати без контролю якості	Витрати з належним контролем	Економія
Закупівля якісної сировини, грн	500,000	600,000	100,000 (дорожча сировина)
Контроль у виробництві, грн	50,000 (виправлення браку)	30,000 (автоматизовані системи)	20,000
Контроль готової продукції, грн	100,000 (повернення партій)	40,000 (детальна перевірка)	60,000
Втрати через часту заміну, грн	200,000	100,000	100,000
Ризики втрати контрактів, грн	500,000 (штрафи, розірвання угод)	-	500,000
Загальні витрати, грн	1,350,000	770,000	580,000 економії

Інвестиції в якісний контроль дозволяють зменшити загальні втрати від 30 до 50 % та підвищити прибутковість виробництва.

За даними таблиці 3.4, контроль якості – це інвестиція, яка окупається. Витрати на лабораторні дослідження, перевірку виробничого процесу та контроль готової продукції є виправданими, оскільки вони зменшують ризик втрат через

брак, повернення продукції та гарантійне обслуговування. Автоматизовані системи контролю, штучний інтелект та ретельний відбір сировини дозволяють мінімізувати дефекти на ранніх етапах виробництва, що скорочує загальні витрати від 30 до 50 %. Запобігання дефектам та висока якість продукції зміцнюють репутацію виробника та дозволяють отримувати вигідні державні контракти.

Таким чином, ефективний контроль якості – це не просто витрати, а стратегія, яка веде до економії, стабільності бізнесу та високої конкурентоспроможності.

### 3.4 Порівняння альтернативних підходів до моніторингу: традиційні та автоматизовані системи

Контроль якості військового одягу є ключовим етапом виробництва, що визначає довговічність, функціональність і відповідність стандартам. У сучасному виробництві використовуються традиційні методи контролю (ручний огляд, механічні випробування) та автоматизовані системи (штучний інтелект, роботизовані тестування, лазерний аналіз).

Проведемо аналіз переваг і недоліків традиційних методів контролю. Серед переваг традиційного контролю простота впровадження – не потребує складного програмного забезпечення, гнучкість – можливість адаптації під різні типи продукції та відносно низька початкова вартість.

Як недолік слід зазначити велику залежність від людського фактору (втома, помилки, суб'єктивність) та високі витрати на робочу силу (необхідність великої кількості операторів), тривалість перевірки – не підходить для масового виробництва, а також неможливість виявлення прихованих дефектів (наприклад, нерівномірне переплетення волокон).

Аналізуючи переваги і недоліки автоматизованих систем контролю, можемо виділити серед переваг швидкість перевірки – аналіз у режимі реального часу, точність – використання лазерного сканування та комп'ютерного зору, зменшення браку – ШІ та сенсори виявляють навіть мікрodefekти, оптимізація витрат – після початкових інвестицій значно скорочуються витрати на контроль, взаємодія із

системами IoT – можливість прогнозування зношування тканин. Загальна характеристика підходів наведена у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Загальна характеристика підходів

Критерій	Традиційний контроль	Автоматизовані системи контролю
Методи перевірки	Ручний візуальний огляд, вибіркоче тестування	Лазерне сканування, ШІ, комп'ютерний зір, IoT-сенсори
Швидкість перевірки	Повільна, залежить від людського фактора	Висока, аналіз у режимі реального часу
Точність аналізу	від 85 до 90 %, можливі помилки через суб'єктивність оцінки	від 98 до 99 %, мінімізовані людські похибки
Можливість виявлення мікродефектів	Обмежена, залежить від кваліфікації персоналу	Висока, розпізнає мікротріщини та порушення структури
Залежність від людського фактора	Висока, суб'єктивність та стомлюваність працівників	Мінімальна, ШІ та алгоритми не втомлюються
Швидкість реагування на дефекти	Довга, виявлення проблем може бути запізнілим	Миттєва, зупинка виробництва при відхиленнях
Витрати на контроль	Високі через велику кількість працівників та довгий час тестування	Високі на початку (інвестиції у системи), але низькі в експлуатації
Гнучкість та масштабованість	Низька, залежить від кількості працівників	Висока, легка інтеграція у виробничий процес

Явними недоліками є висока вартість впровадження (потрібні інвестиції у обладнання та програмне забезпечення), необхідність технічного обслуговування

та кваліфікованого персоналу для роботи з автоматичними системами, а також деякі матеріали (наприклад, спеціальні композитні тканини) можуть потребувати індивідуальних алгоритмів аналізу. Економія від впровадження автоматизації може становити до 60 % за рахунок зменшення витрат на робочу силу та скорочення браку.

У таблиці 3.6 наведено практичний приклад порівняння витрат та ефективності.

Таблиця 3.6 – Практичний приклад порівняння витрат та ефективності

Фактор	Традиційний контроль	Автоматизований контроль
Кількість перевірених одиниць за день	500	5000
Відсоток браку	від 10 до 15 %	від 2 до 3 %
Середня вартість контролю 1 одиниці	2,50	0,80
Річні витрати на контроль якості	500000	200000
Окупність системи	Немає	від 2 до 3 років

Традиційні методи ефективні, якщо виробництво невелике (до 1000 одиниць на день), а продукція має складні індивідуальні параметри, що важко оцінити автоматизованими системами і немає можливості інвестувати у дороге обладнання.

Автоматизовані методи підходять, якщо обсяги виробництва масштабні (від 5000 одиниць на день), важлива висока точність і зниження браку, планується довгострокова економія за рахунок зменшення витрат на контроль.

Отже, автоматизовані системи контролю – це інвестиція, яка окупається у довгостроковій перспективі. Такі системи контролю дозволяють зменшити

витрати, скоротити брак, підвищити якість продукції та відповідність міжнародним стандартам.

Традиційний контроль має сенс для невеликих партій або специфічних виробів. Проте поступається автоматизації у швидкості, точності та ефективності.

Оптимальний підхід – поєднання автоматизації та ручного контролю на критичних етапах виробництва. Це забезпечить мінімізацію дефектів, економію витрат і високу якість військового одягу [32].

### 3.5 Оцінка ризиків, пов'язаних із використанням неякісної сировини, та їх економічні наслідки

У сучасних умовах повномасштабної війни в Україні забезпечення стабільності виробництва військового одягу є критично важливим елементом обороноздатності держави. Якість сировини безпосередньо впливає на функціональність одягу, рівень захисту та комфорт військовослужбовців, а також на економічні показники роботи підприємств оборонно-промислового комплексу. Використання сировини із відхиленнями від нормативних вимог створює комплекс технічних та економічних ризиків, які потребують системного оцінювання та контролю.

Одним із найбільш критичних ризиків є ризик підвищення рівня браку. У разі використання неякісних тканин, ниток, утеплювачів або фурнітури істотно зростає кількість дефектів у готових виробах. Це, у свою чергу, веде до необхідності переробки, ремонту або повного списання продукції. Для підприємства це означає пряме збільшення витрат, зниження продуктивності та зростання собівартості військового одягу. У воєнний час, коли виробництво працює у режимі максимального навантаження, такі втрати є особливо відчутними.

Другим вагомим ризиком є порушення логістичних ланцюгів, що виникає через нестабільність постачання якісної сировини в умовах активних бойових дій. Затримки поставок, пошкодження транспортної інфраструктури та неможливість своєчасно перевірити якість матеріалів ускладнюють виробничий процес і

призводять до додаткових витрат на логістику, складське зберігання та організацію альтернативних каналів постачання [25].

Третім важливим ризиком є втрата відповідності стандартам. Використання сировини, що не відповідає технічним умовам, може спричинити відхилення цілої партії продукції під час приймального контролю. У результаті підприємство зазнає значних фінансових збитків, включно зі штрафами, поверненням продукції та потребою налагодження додаткового контролю якості.

У воєнних умовах особливо небезпечним є ризик зниження функціональності військового одягу. Ненадійні або неякісні матеріали можуть втратити захисні властивості – водостійкість, зносостійкість, термоізоляцію, маскувальний ефект. Це створює загрозу не лише для ефективності виконання військових завдань, а й для здоров'я та життя військовослужбовців. Хоча наслідки цього ризику складно оцінити лише у фінансовому вимірі, вони опосередковано зумовлюють додаткові витрати держави на повторне постачання, медичне забезпечення та логістичне навантаження.

Репутаційні ризики також мають значний вплив. Неefективний контроль якості може призвести до втрати замовників, зменшення обсягів виробництва та необхідності шукати нові ринки збуту. Це негативно позначається на фінансовій стабільності підприємства та його конкурентоспроможності.

Для оцінки впливу ризиків на економічні показники виробництва доцільно застосовувати низку розрахункових методик.

Розрахунок втрат від браку:

$$B_6 = K_d \cdot (C_c + C_n),$$

де

$K_d$  – кількість дефектних виробів;

$C_c$  – собівартість виробу, грн;

$C_n$  – витрати на переробку або утилізацію.

Розрахунок додаткових логістичних витрат:

$$B_{\text{л}} = B_{\text{тз}} + B_{\text{ск}} + B_{\text{зат}},$$

де

$B_{\text{тз}}$  – витрати на термінову закупівлю;

$B_{\text{ск}}$  – витрати на складське зберігання;

$B_{\text{зат}}$  – втрати від затримки виробництва.

Розрахунок загального ризикоорієнтованого збитку:

$$P_{\text{заг}} = \sum (\check{Y}_i \cdot Z_i),$$

де

$\check{Y}_i$  – ймовірність настання ризику;

$Z_i$  – збитки у разі його настання.

Розрахунок очікуваних втрат при відсутності моніторингу:

$$L_{\text{оч}} = (P_{\text{б}} + P_{\text{л}} + P_{\text{ст}}) - E_{\text{м}},$$

де

$E_{\text{м}}$  – економічний ефект від упровадження моніторингу якості.

Ці формули дають змогу підприємству прогнозувати рівень економічних втрат та визначати доцільність упровадження системи моніторингу якості сировини.

Оцінка ризиків, пов'язаних із використанням неякісної сировини, показує, що економічні наслідки для виробництва військового одягу можуть бути критичними. У воєнний час ці ризики значно зростають через нестабільність логістики, терміновість поставок та підвищені вимоги до функціональності продукції. Системний моніторинг якості на всіх етапах – від постачання до готового виробу – є необхідною умовою мінімізації фінансових втрат та забезпечення надійності виробництва. Використання кількісних методів оцінки

ризиків і витрат дозволяє підприємству приймати обґрунтовані управлінські рішення та забезпечувати стабільність виконання державних оборонних замовлень.

### 3.6 Моделювання економічного ефекту від впровадження системи моніторингу якості сировини

Ефективність системи моніторингу якості сировини визначається не лише якістю кінцевої продукції, але й економічними показниками виробничої діяльності підприємства. З метою обґрунтування доцільності впровадження такої системи доцільно провести моделювання її економічного ефекту, що дозволить кількісно оцінити вплив моніторингу на собівартість продукції, обсяг браку, стабільність виробництва та загальні витрати підприємства. Особливо актуальним це є в умовах воєнного часу, коли будь-які затримки чи дефекти у виробництві можуть мати стратегічно важливі наслідки.

Метою моделювання є визначення економічної доцільності та ефективності впровадження системи моніторингу якості шляхом порівняння витрат на її реалізацію із економією, отриманою за рахунок зменшення кількості браку, зниження логістичних втрат, оптимізації виробничого процесу та підвищення надійності поставок [29].

Для моделювання враховуються такі параметри:

1. Рівень браку до впровадження моніторингу –  $V_{до}$
2. Рівень браку після впровадження моніторингу –  $V_{після}$
3. Собівартість одиниці виробу –  $C_{од}$
4. Витрати на переробку дефектної продукції –  $C_{пер}$
5. Обсяг річного виробництва –  $Q$
6. Витрати на впровадження моніторингу –  $C_{мон}$
7. Логістичні втрати до/після впровадження –  $L_{до}, L_{після}$

Методика моделювання економічного ефекту

Оцінка економії від зниження рівня браку

$$E_{\text{брак}} = (V_{\text{до}} - V_{\text{після}}) \cdot Q \cdot (C_{\text{од}} + C_{\text{пер}})$$

Отриманий показник відображає пряму економію підприємства завдяки зменшенню кількості дефектних виробів.

Економія на логістичних витратах

$$E_{\text{лог}} = L_{\text{до}} - L_{\text{після}}$$

У воєнний час логістичні витрати особливо високі, тому зменшення кількості повернень і стабільність якості сировини відіграють важливу роль у зниженні загальних витрат.

Практичний приклад моделювання

Розглянемо умовне підприємство, що виробляє 100 000 одиниць військового одягу на рік. Вхідні дані наведено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Вихідні дані підприємства, що виробляє 100 000 одиниць військового одягу на рік

Показник	Значення
Рівень браку до моніторингу, $V_{\text{до}}$	6 %
Рівень браку після моніторингу, $V_{\text{після}}$	2 %
Собівартість виробу, $C_{\text{од}}$	900 грн
Витрати на переробку, $C_{\text{пер}}$	250 грн
Річний обсяг виробництва, $Q$	100 000 од.
Логістичні втрати до моніторингу, $L_{\text{до}}$	1 200 000 грн.
Логістичні втрати після моніторингу, $L_{\text{після}}$	500 000 грн.
Витрати на моніторинг (обладнання, персонал), $C_{\text{мон}}$	1 500 000 грн.

Економія від зниження рівня браку

$$E_{\text{брак}} = (0,06 - 0,02) \cdot 100000 \cdot (900 + 250);$$

$$E_{\text{брак}} = 0,04 \cdot 100000 \cdot 1150 = 4\,600\,000 \text{ грн.}$$

Економія на логістичних витратах

$$E_{\text{лог}} = 1\,200\,000 - 500\,000 = 700\,000 \text{ грн.}$$

Економія від зниження ризику невідповідності стандартам

В умовах війни втрати від відхилення партії можуть сягати мільйонів гривень. Припустимо:

$$E_{\text{ст}} = 900\,000 \text{ грн.}$$

Загальний економічний ефект

$$E_{\text{заг}} = 4\,600\,000 + 700\,000 + 900\,000 = 6\,200\,000 \text{ грн.}$$

Фінальний економічний результат

$$E_{\text{ф}} = 6\,200\,000 - 1\,500\,000 = 4\,700\,000 \text{ грн.}$$

Отже, упровадження системи моніторингу якості сировини забезпечує позитивний економічний ефект у розмірі близько 4,7 млн грн. на рік.

Моделювання доводить економічну доцільність впровадження системи моніторингу навіть за умов високих початкових витрат. Основна частка економічного ефекту формується за рахунок зниження рівня браку, що є ключовим фактором у виробництві військового одягу. Під час війни значно зростає роль стабільності постачання та відповідності стандартам МОУ, тому моніторинг якості мінімізує стратегічні ризики. Модель показує, що система моніторингу окупається протягом 3–5 місяців, що є вкрай високим показником ефективності. Впровадження моніторингу підвищує не лише економічну, а й операційну надійність виробництва, що дозволяє підприємству виконувати оборонні замовлення у встановлені терміни.

Ефективність виробництва військового одягу визначається не лише якістю кінцевої продукції, але й здатністю підприємства забезпечувати стабільні та

короткі виробничі цикли. В умовах воєнного стану це має стратегічне значення, оскільки затримка поставок спорядження може безпосередньо впливати на оперативну готовність підрозділів Збройних сил України. Запровадження системи моніторингу якості сировини дозволяє оптимізувати виробничі процеси, мінімізувати втрати часу, зменшити кількість технологічних збоїв та підвищити загальну продуктивність підприємства.

Однією з ключових причин затримок у виробництві військового одягу є постачання сировини недостатньої або нестабільної якості. Це створює необхідність проведення додаткових перевірок, повторного відбору, заміни матеріалів або коригування технологічних процесів. В умовах відсутності систематичного моніторингу ці процеси можуть бути несинхронізованими, неструктурованими та непередбачуваними.

Впровадження системи моніторингу якості дозволяє скоротити час на вхідний контроль сировини за рахунок стандартизованих процедур та автоматизації; зменшити час простою виробничих ліній, який виникає через необхідність заміни бракованих матеріалів; підвищити прогнозованість процесу постачання, оскільки система виявляє неякісні партії на ранніх етапах; запобігати аварійним змінам технологічних режимів, які спричиняють затримки у виробничому циклі; забезпечити ритмічність виробництва, що особливо важливо при виконанні державних контрактів, де строки є критично важливими.

Таким чином, моніторинг якості сировини сприяє зменшенню непланових простоїв і забезпечує стабільне завантаження виробничих потужностей.

Продуктивність підприємства визначається кількістю продукції, яку можна виготовити за одиницю часу, а також ефективністю використання ресурсів. Запровадження системи моніторингу якості сировини суттєво впливає на ці показники, оскільки дозволяє зменшити кількість переробок і повторних операцій, що звільняє виробничий час та ресурси, підвищує ефективність планування за рахунок зменшення варіативності якості сировини та стабілізує технологічні режими, що позитивно впливає на продуктивність обладнання. Крім того, моніторинг забезпечує раціональніше завантаження персоналу, який раніше був

залучений до усунення дефектів, та сприяє збільшенню виходу придатної продукції з кожної партії, що підвищує загальну ефективність виробничих потужностей. У результаті впровадження системи моніторингу якості сприяє зростанню виробничої спроможності підприємства, одночасно зменшуючи витрати часу на виготовлення кожної одиниці продукції.

З наукової точки зору система моніторингу якості сировини може бути розглянута як інструмент управління виробничими ризиками, що ґрунтується на принципах процесного та системного підходів. Її функціонування забезпечує безперервний збір, аналіз і інтерпретацію даних про якісні параметри сировини, що дозволяє кількісно оцінювати вплив вхідних характеристик матеріалів на результати виробничого процесу. Це створює основу для формування причинно-наслідкових моделей, які пов'язують якість сировини з рівнем браку, тривалістю виробничого циклу та продуктивністю підприємства.

Математичне моделювання процесів контролю якості підтверджує, що зменшення дисперсії вхідних параметрів сировини призводить до стабілізації технологічних режимів та зниження ймовірності виникнення критичних відхилень. З позицій теорії ймовірностей та математичної статистики це означає зменшення частоти дефектних подій та підвищення середнього значення показника виходу придатної продукції. Таким чином, система моніторингу виконує не лише контрольну, а й прогностичну функцію, дозволяючи ідентифікувати потенційні ризики ще до їхнього переходу у стадію виробничих втрат.

У контексті управління виробничими процесами система моніторингу якості сировини може бути інтегрована у контур оперативного планування та диспетчеризації виробництва. Наявність достовірних і своєчасних даних про якість матеріалів забезпечує можливість коригування планів випуску продукції в режимі реального часу, оптимізації черговості виконання замовлень та зниження рівня невизначеності при прийнятті управлінських рішень. Це особливо важливо в умовах виконання оборонних контрактів, де порушення строків постачання має критичні наслідки.

З позицій теорії бережливого виробництва моніторинг якості сировини сприяє усуненню одного з ключових видів втрат – дефектів і переробок. Скорочення кількості дефектної продукції призводить до зменшення надлишкових операцій, простоїв обладнання та нераціонального використання трудових ресурсів. У поєднанні з принципами «Just-in-Time» це дозволяє знизити рівень запасів і скоротити тривалість виробничого циклу без зниження надійності постачання.

З економіко-математичної точки зору ефект від упровадження системи моніторингу якості може бути формалізований через зміну ключових показників ефективності (KPI), таких як коефіцієнт використання обладнання (OEE), рівень браку, середній час виробничого циклу та собівартість одиниці продукції. Аналіз динаміки цих показників у моделі «до» та «після» впровадження моніторингу демонструє стійку позитивну тенденцію, що підтверджує доцільність інвестицій у систему контролю якості навіть за умов високих початкових витрат.

Окремо слід відзначити вплив системи моніторингу на формування адаптивної виробничої системи. Завдяки накопиченню масиву даних про якість сировини та результати її використання з'являється можливість застосування методів машинного навчання для прогнозування відхилень, оптимізації параметрів технологічних процесів та підвищення точності управлінських рішень. Такий підхід забезпечує перехід від реактивної моделі управління до проактивної, що є характерною ознакою сучасних високотехнологічних виробництв [29].

Узагальнюючи, можна стверджувати, що впровадження системи моніторингу якості сировини у виробництві військового одягу є науково обґрунтованим заходом, який забезпечує синергетичний ефект у вигляді підвищення економічної ефективності, стабільності виробничих процесів та операційної надійності підприємства. Це створює передумови для своєчасного та безперебійного виконання оборонних замовлень, зниження стратегічних ризиків і зміцнення виробничого потенціалу підприємства в умовах воєнного стану

### 3.7 Соціально-економічний ефект від модернізації системи контролю якості сировини військового одягу

Модернізація системи контролю якості сировини є ключовим фактором підвищення ефективності виробництва військового одягу, оскільки дозволяє мінімізувати дефекти, знизити виробничі втрати та забезпечити стабільну якість продукції. Економічне обґрунтування таких інвестицій базується на оцінці співвідношення між витратами на модернізацію та потенційними економічними вигодами для підприємства.

По-перше, впровадження автоматизованих та цифрових систем контролю, включаючи машинне зору, сенсори, IoT-рішення та цифрові паспорти матеріалів, дозволяє зменшити витрати на переробки та усунення браку, що безпосередньо знижує виробничі витрати. По-друге, покращення точності контролю сировини забезпечує стабільність технологічних режимів та зменшує варіативність властивостей матеріалів, що підвищує ефективність планування та завантаження обладнання.

Крім цього, модернізація сприяє збільшенню виходу придатної продукції з кожної партії, зменшенню часу на виробництво одиниці продукції та підвищенню загальної продуктивності підприємства. Економічна доцільність інвестицій також підтверджується зменшенням ризиків матеріальних втрат через використання неякісної сировини та скороченням витрат на гарантійне обслуговування готової продукції [29].

Для оцінки ефективності інвестицій застосовують стандартні фінансові показники, такі як термін окупності (Payback period), чиста приведена вартість (NPV), внутрішня норма доходності (IRR). Розрахунки показують, що впровадження сучасних систем контролю якості є рентабельним навіть при значних початкових вкладеннях, оскільки забезпечує економію на виробництві, скорочує витрати на дефектну продукцію та підвищує конкурентоспроможність підприємства.

Таким чином, економічне обґрунтування інвестицій у модернізацію системи контролю якості сировини демонструє доцільність вкладень, що спрямовані на підвищення надійності, продуктивності та економічної ефективності виробництва військового одягу. Інвестування у цифровізацію та автоматизацію контролю якості є стратегічно вигідним рішенням, яке забезпечує довгострокову стабільність виробничих процесів та оптимізацію ресурсів.

Підвищення якості військового одягу має комплексний соціально-економічний ефект, який виходить за межі прямого економічного виграшу підприємства. Надійний та комфортний одяг безпосередньо впливає на безпеку та ефективність військовослужбовців, оскільки зменшує ризики отримання травм або негативного впливу несприятливих погодних умов у польових умовах. Це сприяє підвищенню боєздатності підрозділів та збереженню людських ресурсів, що має критичне значення для оборонного потенціалу країни.

Покращення якості продукції також позитивно впливає на комфорт і працездатність персоналу, дозволяючи зменшити втому та підвищити продуктивність виконання завдань. Надійні матеріали та високі експлуатаційні характеристики одягу зменшують потребу у частих ремонтах або замінах комплектів, що забезпечує оптимізацію використання ресурсів і скорочення додаткових витрат на обслуговування.

Важливим аспектом є також вплив на репутацію виробника, що виробляє високоякісний військовий одяг. Надійна продукція підвищує довіру замовників, включаючи державні структури, та сприяє зміцненню позицій підприємства на ринку оборонної продукції. Це, у свою чергу, опосередковано впливає на економічні результати, оскільки дозволяє залучати нові контракти, оптимізувати виробничі обсяги та підвищувати фінансову стабільність підприємства.

Таким чином, підвищення якості військового одягу забезпечує одночасно соціальний ефект – підвищення безпеки, комфорту та ефективності військовослужбовців – та економічний ефект – оптимізацію виробничих витрат, зростання довіри до виробника та зміцнення ринкових позицій. Інтеграція заходів щодо контролю якості та модернізації виробництва є стратегічно важливим кроком

для забезпечення стабільної якості продукції та ефективного використання ресурсів оборонної промисловості.

Крім наведених економічних та соціальних аспектів, модернізація системи контролю якості сировини має суттєвий мультиплікативний ефект для всієї системи оборонно-промислового комплексу. Впровадження єдиних цифрових стандартів контролю якості сприяє гармонізації вимог до сировини, підвищенню прозорості виробничих процесів та уніфікації підходів до оцінювання відповідності матеріалів нормативній документації. Це дозволяє зменшити кількість суб'єктивних рішень та підвищити відтворюваність результатів контролю [35].

З позицій макроекономіки модернізація систем контролю якості у виробництві військового одягу сприяє раціональному використанню бюджетних коштів, оскільки знижується частка неефективних витрат, пов'язаних із закупівлею неякісної сировини, повторним виробництвом або достроковим списанням продукції. Підвищення довговічності військового одягу забезпечує зменшення потреби у частих закупівлях, що є особливо актуальним в умовах обмежених фінансових ресурсів та зростаючих потреб сектору безпеки і оборони.

Важливим соціальним аспектом є вплив модернізованих систем контролю якості на умови праці персоналу підприємств легкої промисловості оборонного спрямування. Автоматизація контрольних операцій знижує рівень монотонної ручної праці, мінімізує вплив людського фактору та зменшує виробничі ризики. Це сприяє підвищенню рівня безпеки праці, зростанню кваліфікації персоналу та формуванню сучасної виробничої культури, орієнтованої на якість і безперервне вдосконалення.

Модернізація контролю якості сировини також створює передумови для інтеграції вітчизняних виробників у міжнародні ланцюги постачання оборонної продукції. Відповідність сучасним вимогам стандартів ISO та НАТО STANAG підвищує експортний потенціал підприємств і дозволяє брати участь у міжнародних тендерах та програмах співпраці. У довгостроковій перспективі це

сприяє зміцненню конкурентних позицій на світовому ринку та залученню інвестицій у розвиток виробничих потужностей.

Окремо слід відзначити вплив модернізації системи контролю якості на інноваційний розвиток галузі. Використання цифрових платформ, аналітики великих даних та прогнозних моделей дозволяє не лише фіксувати відхилення якості, а й своєчасно виявляти тенденції погіршення характеристик сировини, що створює основу для превентивного управління ризиками. Такий підхід забезпечує перехід від реактивної до проактивної системи управління якістю.

У соціальному вимірі підвищення якості військового одягу сприяє зміцненню довіри особового складу до забезпечення, що має важливе морально-психологічне значення. Впевненість у надійності екіпірування позитивно впливає на психологічну стійкість військовослужбовців, знижує рівень стресу та підвищує загальну ефективність виконання бойових і службових завдань.

Таким чином, соціально-економічний ефект від модернізації системи контролю якості сировини військового одягу є комплексним і багаторівневим. Він проявляється у підвищенні ефективності виробництва, оптимізації витрат, зростанні безпеки та комфорту військовослужбовців, покращенні умов праці персоналу, зміцненні обороноздатності держави та розвитку національної оборонної промисловості. Це підтверджує доцільність розгляду модернізації систем контролю якості як стратегічного напрямку розвитку підприємств, що спеціалізуються на виробництві військового одягу.

## ВИСНОВКИ

Якість сировини має вирішальну роль у забезпеченні надійності, безпеки та довговічності військового обмундирування. Сучасні умови експлуатації військової форми, зокрема участь у бойових діях, зміна кліматичних зон та тривалий термін використання одягу без можливості його заміни, зумовлюють необхідність суворого контролю за якістю вихідної сировини на всіх етапах виробництва.

У роботі було охарактеризовано технічні параметри сировини, що визначають її придатність для застосування у військовому секторі. До них відносяться міцність на розрив, стійкість до стирання, водостійкість, повітропроникність, терморегуляція, маскувальні властивості, вогнестійкість, антистатичність та гіпоалергенність. На основі аналізу літературних джерел, нормативної бази (ДСТУ, ГОСТ, ISO, стандарти НАТО) та сучасних технологій контролю розглянуто методи моніторингу якості сировини, включаючи механічні, оптичні, хімічні та теплотехнічні випробування, а також цифрові та автоматизовані рішення – машинне навчання, сенсорні системи, IoT-технології та цифрові паспорти матеріалів.

Економічне обґрунтування показало високу доцільність впровадження системного моніторингу якості сировини. Розрахунки свідчать про значне зниження витрат на виправлення браку, підвищення довговічності продукції, зменшення кількості рекламаций та скорочення витрат на гарантійне обслуговування. Інвестиції у якісну сировину та сучасний контроль сприяють підвищенню конкурентоспроможності підприємства, оптимізації виробничих ресурсів, збільшенню виходу придатної продукції та покращенню іміджу виробника.

Соціально-економічний ефект підвищення якості військового одягу полягає у створенні безпеки та комфорту військовослужбовців, стабілізації їх боєздатності та зменшенні втрат через неякісну продукцію. Крім того, впровадження систем моніторингу та модернізація виробництва передбачає потребу в оновленні обладнання, навчанні персоналу, створенні лабораторій швидкого тестування, а також сприяє розробці державних стандартів для військових тканин, що забезпечує

гармонізацію українських норм із міжнародними стандартами (ISO, NATO STANAG, MIL-SPEC).

Отже, техніко-економічне обґрунтування процесу моніторингу якості сировини підтверджує його критичну важливість та ефективність для сучасного виробництва військового одягу. Системний підхід до контролю якості матеріалів є не лише технічно доцільним, а й економічно вигідним, забезпечуючи підвищену надійність, довговічність і функціональність одягу. З огляду на сучасні виклики оборонної промисловості України, впровадження таких рішень є необхідним для забезпечення армії високоякісним, безпечним та адаптованим до складних умов обмундируванням, здатним виконувати завдання у будь-яких бойових та екстремальних ситуаціях.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Абрамов О. М. Технології виготовлення військового одягу та спорядження: навч. посіб. / О.М. Абрамов. – Київ: Вища школа, 2021. – 248 с.
2. Аналіз властивостей луб'яної сировини як компонента тканини для військового обмундирування // Науковий вісник текстильної промисловості. – 2024. – № 1. – Режим доступу: <https://c-bulletin.com.ua>
3. Бондаренко В. П. Сучасні технології у виробництві військових тканин / В.П. Бондаренко. – Київ: Техніка, 2020. – 220 с.
4. Гриценко Ю. І. Матеріали для військового обмундирування: підручник / Ю. І. Гриценко. – Харків: ХНАДУ, 2019. – 312 с.
5. Гриценко Ю. І. Управління процесами виробництва в текстильній галузі: підручник / Ю. І. Гриценко. – Київ: Наукова думка, 2020. – 276 с.
6. Гуменюк Н. М. Економічне обґрунтування проектних рішень в текстильній промисловості / Н. М. Гуменюк. – Київ: НТУУ "КПІ", 2016. – 193 с.
7. Дубровіна Л. П. Технічні вимоги до матеріалів для військового обмундирування: монографія / Л. П. Дубровіна. – Харків: ХНАДУ, 2020. – 276 с.
8. Іванова В. С. Матеріалознавство для виробництва одягу: підручник / В. С. Іванова. – Харків: ХНАДУ, 2018. – 320 с.
9. Коваленко О. А. Специфіка технологічних процесів у виробництві військового одягу: підручник / О. А. Коваленко. – Дніпро: ДНУ, 2020. – 300 с.
10. Кравчук В. В. Техніко-економічне обґрунтування виробничих процесів: підручник / В. В. Кравчук. – Львів: ЛНУ, 2020. – 312 с.
11. Куриленко М. І. Військова форма та її еволюція: від першої світової до сучасності / М. І. Куриленко. – Київ: Вид-во військового факультету, 2019. – 360 с.
12. Мельников О. В. Військовий одяг: матеріали та технології: навчальний посібник / О. В. Мельников. – Київ: Техніка, 2017. – 280 с.
13. Мельник О. М. Методи оцінки якості сировини в текстильному виробництві / О. М. Мельник. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 201 с.

14. Мороз В. О. Основи економіки та організації виробництва в текстильній промисловості: підручник / В. О. Мороз. – К.: КНЕУ, 2021. – 298 с.
15. Никитин В. О. Інноваційні матеріали для сучасного військового одягу: монографія / В. О. Никитин. – Одеса: ОНУ, 2018. – 320 с.
16. Петренко Л. М. Оцінка якості сировини для текстильних виробів: монографія / Л. М. Петренко. – Одеса: ОНУ, 2017. – 189 с.
17. Петрів В. М. Матеріали для військової форми: характеристика та вимоги до тканин / В. М. Петрів. – Львів: ЛНУ, 2019. – 214 с.
18. Про стандартизацію: Закон України від 05.06.2014 № 1315-VII. – Офіц. вид. – Київ : Верховна Рада України, 2014. – (дата звернення: 03.11.2025).
19. Про технічні регламенти та оцінку відповідності: Закон України від 15.01.2015 № 124-VIII. – Офіц. вид. – Київ : Верховна Рада України, 2015. – (дата звернення: 03.11.2025).
20. Мінекономіки України. Офіційні тексти національних стандартів: роз'яснення щодо публікацій. – Київ : Мінекономіки, 2024. – (дата звернення: 29.10.2025).
21. ДП «УкрНДНЦ». Інформація про втрату чинності окремих національних стандартів (ГОСТ) та заміну на ДСТУ/EN/ISO (накази 2019–2024 рр.). м Київ : ДП «УкрНДНЦ». – URL: <https://uas.org.ua> (дата звернення: 03.11.2025).
22. Єдинович М. Б., Поліщук В. М., Сарафанникова Н. В., Осадчук В. С. Контроль якості текстильних тканин / М. Б. Єдинович, В. М. Поліщук, Н. В. Сарафанникова, В. С. Осадчук. – Херсон: ХНТУ, 2023.
23. Пелик Л. В., Шелько Д. Ю., Сокальська А. А. Дослідження зносостійкості льономісних текстильних матеріалів / Л. В. Пелик, Д. Ю. Шелько, А. А. Сокальська. – Львів: ЛТЕУ, 2020.
24. Хребтань О. Б., Дудла І. О., Яковенко А. М. Ідентифікація волокнистого складу швейних товарів під час товарознавчої експертизи / О. Б. Хребтань, І. О. Дудла, А. М. Яковенко. – Чернігів: ЧНТУ, 2018.

25. Пономаренко І. О. Дослідження показників якості тканин для спецодягу / І. О. Пономаренко. – Харків: ХНУРЕ, 2025.
26. Сидоренко Т. С. Дослідження матеріалів для виготовлення швейних виробів та оцінка їх якості / Т. С. Сидоренко. – Хмельницький: ХНТУ, 2023.
27. Дурач В. М., Ткачук П. В., Ніколайчук Л. Г. Пріоритетні дослідження матеріалів та властивостей військової форми Збройних Сил України в умовах війни / В. М. Дурач, П. В. Ткачук, Л. Г. Ніколайчук. – 2022.
28. Пелик Л. В., Шелько Д. Ю., Сокальська А. А. Вплив нитки еластан на формостійкість змішаних текстильних матеріалів / Л. В. Пелик, Ю. А. Пелех, Д. Ю. Шелько. – Львів: ЛТЕУ, 2023.
29. Савченко С. П. Техніко-економічне обґрунтування виробництва: підручник / С. П. Савченко. – Харків: ХАІ, 2021. – 240 с.
30. Станіславенко Н. В. Вибір та використання текстильних матеріалів для виробництва одягу / Н. В. Станіславенко. – Харків: ХНАДУ, 2017. – 156 с.
31. Шевченко С. Г. Військове обмундирування: від історії до сучасних стандартів / С. Г. Шевченко. – Дніпро: ДНУ, 2021. – 320 с.
32. Черненко С.І. Технічний контроль якості матеріалів: монографія / С.І. Черненко. – Одеса: Одеський університет, 2020. – 274 с.
33. Шевченко О.І. Технологія виробництва текстильних матеріалів: навч. посіб. / О. І. Шевченко. – К.: Вища школа, 2019. – 256 с.
34. Червоненко І. А. Технічне регулювання в індустрії одягу: навчальний посібник / І. А. Червоненко. – Львів: ЛДУ, 2019. – 204 с.
35. Задорожний П. М. Управління якістю продукції в текстильній промисловості / П. М. Задорожний. – Київ: Наукова думка, 2016. – 280 с.