МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Слізков А.М., Щербань В.Ю., Красницький С.М., Демківська Т.І.

ПРОГНОЗУВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПОБУТОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

МОНОГРАФІЯ

Рекомендовано Вченою радою Київського національного
університету технологій та дизайну
для студентів напряму підготовки 6.051601
«Технологія та дизайн текстильних матеріалів»

Київ – 2013

УДК 687.03.017
ББК 37.24
П 78

Рекомендовано до друку Вченою радою
Київського національного університету технологій та дизайну
для студентів напряму підготовки
6.051601 «Технологія та дизайн текстильних матеріалів» та фахівців
текстильної промисловості (пр. № 1 від 26.09.2013р.)

Автори:

Слізков Андрій Миколайович – д.т.н., проф. , директор ГНДІМС (КНУТД)
Щербань Володимир Юрійович – д.т.н., проф. , зав. кафедри ІТ КНУТД
Краснитський Сергій Михайлович – д.т.н., проф. , професор кафедри ІТ КНУТД
Лемківська Тетяна Іванівна – к.т.н., доц. , доцент кафедри ІТ КНУТД

Рецензенти:

М. П. Березненко **–** докт.техн.наук, професор кафедри технології та конструювання швейних виробів Київського національного університету технологій та дизайну.

В. М. Опанасенко **–** докт.техн.наук, професор, провідний науковий співробітник Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України.

О. І. Провотар **–** докт.техн.наук, професор, завідувач кафедри інформаційних систем Київського національного університету ім. Тараса Шевченка

Слізков А. М. Прогнозування фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів
П 78 побутового призначення. Монографія / А.М. Слізков, В. В. Щербань, С. М. Краснитський, Т. І. Демківська – К.:КНУТД, 2013 – 223 с.

В монографії розмішені матеріали з пошуку нових підходів до прогнозування властивостей текстильних матеріалів побутового призначення на всьому технологічному ланцюжку їх виготовлення. Представлені матеріали з комплексного теоретичного та експериментального вивчення проблеми прогнозування властивостей текстильних матеріалів вовняного асортименту побутового призначення для скорочення часу на їх розробку та впровадження у виробництво, а також у можливості коригування властивостей матеріалів у процесі їх виготовлення з метою підвищення якості і конкурентоспроможності.

УДК 687.03.017
ББК 37.24

ISBN 978-966-8276-9906

© А.М. Слізков, В.В. Щербань,
С. М. Краснитський, Т. І. Демківська
© КНУТД, 2013

ЗМІСТ

ВСТУП 5

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ 7

1.1. Застосування системного аналізу в прогнозуванні властивостей текстильних матеріалів 9

1.1.1. Система перетворення властивостей текстильних матеріалів в процесі виготовлення 12

1.2 Аналіз напрямів та методів побудови математичних моделей властивостей текстильних матеріалів 14

РОЗДІЛ 2. НАУКОВІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ В ПРОГНОЗУВАННІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ 18

2.1. Розробка загального алгоритму системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів 21

2.2. Особливості підсистеми прогнозування властивостей пряжі . . . 32

2.3. Особливості підсистеми прогнозування властивостей тканини.. 38

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА НАУКОВИХ ОСНОВ ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ 41

3.1 Аналіз волокнистого продукту, сформованого з орієнтованих волокон та їх груп 43

3.1.1. Обґрунтування математичного методу побудови моделі властивостей текстильних матеріалів 44

3.2. Аналіз методів ідентифікації систем 54

3.3. Особливості застосування ідентифікації в прогнозуванні

властивостей текстильних матеріалів 71
3.4. Побудова математичних моделей та усунення колінеарності при застосуванні ідентифікації у визначенні властивостей текстильних матеріалів 77
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ 89
4.1. Розробка методики побудови математичної моделі системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів 89
4.2. Розробка архітектури системи підтримки прийняття рішень . . . 94
4.3. Побудова інтерфейсу системи обробки даних 105
4.4. Метод підвищення якості статистичних обчислень та висновків 107
4.5. Алгоритм прийняття рішень в системі прогнозування властивостей текстильних матеріалів 116
4.6. Аналіз результатів застосування програмного комплексу системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів . . 120
РОЗДІЛ 5. ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ 131
5.1. Розробка методу оцінювання ефективності системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів 133
5.2. Визначення критерію ефективності підсистеми прогнозування властивостей камвольної пряжі 142
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ 151
ДОДАТКИ 167
Додаток А 167
Додаток Б 222

ВСТУП

Підприємства текстильної промисловості України працюють в умовах нестабільного внутрішнього та зовнішнього ринку, загострення конкуренції, появи нового асортименту текстильних матеріалів, які мають специфічні властивості та їх ймовірнісні зміни в процесі виготовлення.

Значних витрат часу та матеріальних ресурсів зазнають текстильні підприємства України при постановці на виробництво нового асортименту вовняної пряжі та отримання з неї тканин із прогнозованими властивостями. Це пов'язано з різними властивостями похідної сировини та багатофакторністю виробничого процесу.

Враховуючи суттєве забезпечення текстильних підприємств комп'ютерною технікою, сьогодні вкрай необхідне використання інформаційних технологій у вирішенні проблемних питань прогнозування фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів, що на стадії підготовки до виробництва суттєво скоротить термін їх розробки, сприятиме економії матеріальних та трудових ресурсів.

Для вирішення зазначеної проблеми текстильного матеріалознавства потрібні нові наукові підходи, які полягають у створенні методу прогнозування фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів вовняного асортименту в процесі їх еволюції в умовах виробництва. Створення системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів (СПВТМ) дасть можливість оперативно визначати закономірності зв'язку між показниками властивостей різних текстильних матеріалів вовняного асортименту.

Важливим елементом СПВТМ є методи та засоби визначення показників властивостей досліджуваних текстильних матеріалів. Існуючі методи визначення структурних характеристик волокнистих стрічкоподібних продуктів досить складні і вимагають багато часу. Крім того, вони не систематизовані, тому виникає потреба у розробці класифікації, за допомогою якої можна

визначити напрями створення нових прогресивних методів та пристроїв оцінки ступеня розпрямленості та орієнтації волокон у цих матеріалах.

Представлена наукова робота полягає у комплексному теоретичному та експериментальному вивченні проблеми прогнозування властивостей текстильних матеріалів вовняного асортименту побутового призначення для скорочення часу на їх розробку та впровадження у виробництво, а також у можливості коригування властивостей матеріалів у процесі їх виготовлення з метою підвищення якості і конкурентоспроможності.

Результати роботи представлені в монографії можуть бути використані в текстильній та легкій промисловості, а також суміжних галузях промислового комплексу України та інших країн для прогнозування та проектування властивостей продукції різного призначення.

Розділ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Однією з передумов підвищення конкурентоспроможності підприємств легкої та текстильної промисловостей України є розширення асортименту та підвищення якості виготовленої продукції, значне місце в цьому відводиться матеріалознавству [1-6]. Раціональне використання сировини є одним з найбільш важливих напрямків підвищення ефективності роботи текстильних підприємств.

Якість текстильних матеріалів формується в процесі їх виробництва. Основними факторами, які визначають якість текстильних матеріалів, в першу чергу є властивості вхідної сировини (волокон), а також способи їх переробки та технічний стан устаткування, де виготовляється продукція. В зв'язку з цим все більше значення мають методи та засоби визначення структури та властивостей текстильних матеріалів та вміння їх прогнозувати. Вирішення зазначених проблем в значній мірі залежить від системного підходу до прогнозування властивостей текстильних матеріалів на кожному етапі їх виготовлення.

Властивості текстильних ниток та виробів залежать від особливостей виробничих процесів їх виготовлення і характеризуються багатофакторністю, складністю взаємозв'язків та взаємовпливу; наявністю зворотних зв'язків між якістю виробленої продукції та роботою устаткування; значною нестабільністю похідної сировини за показниками якості. Процес зміни властивостей текстильних матеріалів на протязі їх виготовлення, визначає систему цілеспрямованих дій, сукупність способів, методів перетворення похідної сировини, енергії та інформації з початкового стану в кінцевий. Таким чином, сукупність елементів (частин), які взаємопов'язані між собою і взаємодіють для досягнення визначеної мети утворюють цілісну систему.

Якщо функціонування системи в цілому та взаємодія між його складовими елементами регулюються простими методами, тоді така система є

простою. Системи, в яких взаємодія між її елементами та функціонування в цілому регулюється шляхом застосування складних принципів і методів є складними [7-12].

Одним з важливих елементів системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів є методичне забезпечення визначення цих властивостей, яке знайшло своє застосування в ряді навчальних, наукових та дисертаційних робіт. Поряд з цим потребують подальшого вирішення задачі створення неруйнівного експресного визначення структурних характеристик (розпрямленості та орієнтації волокон) стрічкоподібних волокнистих продуктів, які мають значний вплив на формування властивостей текстильних матеріалів, а також удосконалення методів та розробка пристроїв визначення незминальності текстильних полотен способом неорієнтованого зминання. Практично відсутні комплексні методи визначення здатності ниток до текстильної переробки, при тому, що переважна кількість обривів ниток при виготовленні текстильних виробів виникає в процесі їх розтягнення, ускладненому іншими видами деформацій, або тертям. Відсутні також ефективні експресні методи визначення пористої структури текстильних матеріалів.

Таким чином для реалізації в цілому системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів актуальною є розробка: нових неруйнівних експресних методів та засобів визначення структурних показників текстильних матеріалів, які можуть бути застосовані безпосередньо на устаткуванні; удосконалення методів оцінки незминальності текстильних полотен способом неорієнтованого зминання; методів визначення здатності до текстильної переробки ниток та експресних методів визначення пористої структури текстильних матеріалів.

1.1. Застосування системного аналізу в прогнозуванні властивостей текстильних матеріалів

Системний підхід є не тільки ефективним інструментом різноманітної діяльності, а також і засобом мислення. Він має свою теоретичну, правову та практичну базу. Тому важливо розглянути застосування системного підходу в прогнозуванні властивостей текстильних матеріалів в залежності від особливостей їх виготовлення.

Для визначення наукових засад прогнозування властивостей текстильних матеріалів в процесі їх виготовлення потрібен комплексний розгляд процесів, починаючи від підготування сировини, отримання готової продукції. Ці питання вирішуються шляхом застосування системного підходу та аналізу процесів перетворення властивостей текстильних матеріалів, зв'язків між властивостями проміжних та кінцевих текстильних продуктів з врахуванням факторів, які впливають на них. Досягнення цієї мети пов'язано з визначенням та вивченням системи перетворення властивостей текстильних матеріалів в залежності від виробничого процесу їх виготовлення. В зв'язку з цим необхідним є аналіз факторів, які впливають на властивості текстильних матеріалів, а також визначення критеріїв ефективності визначеної системи.

Елемент системи в межах зберігання її певної якості характеризується відносною неподільністю. Елементи системи утворюють між собою угрупування, при цьому характер зв'язків між елементами відрізняється від характеру зв'язків між самими угрупуваннями і таким чином всередині системи утворюють підсистеми. Розподілення системи на підсистеми є діленням більшого процесу на підпроцеси з відповідними входами та виходами. Кожний вхід певного процесу є виходом попереднього, а вихід цього підпроцесу є входом до наступного. Таким чином утворюється взаємозв'язок між процесами. Під зв'язками системи розуміють: допоміжні транспортувальні засоби, за якими здійснюється подача сировини, проміжкових продуктів і відведення готової

продукції; лінії за якими передається енергія та сировина; сигнальна система, яка забезпечує інформаційний обмін між елементами системи.

Кожна система може бути розглянутою як підсистема (елемент) іншої системи більш високого порядку (надсистеми), хоча одночасно кожен елемент надсистеми може бути системою більш нижчого порядку. Багаторівневий характер є визначальною рисою складних систем. Так властивості стрічки із чесальних машин можуть бути розглянуті, як окрема система, яка складається з підсистем (вхідні параметри волокнистого матеріалу та основних робочих органів тощо). В свою чергу отримана чесана стрічка, входить підсистемою в систему більш високого рангу (надсистему), якщо розглядати загальну систему зміни властивостей волокнистого продукту в процесі функціонування (стрічки зі стрічкових машин, рівниця, пряжа, тканина, перетворення властивостей в процесі експлуатації тощо).

Система перетворення властивостей текстильних матеріалів в процесі їх функціонування є цілеспрямованим процесом створення корисної продукції шляхом взаємодії різних виробничих, організаційних і експлуатаційних підсистем. В свою чергу виробнича система є сукупністю взаємопов’язаних ліній технологічного устаткування та процесів, які взаємодіють в межах виробничої системи з метою виготовлення кінцевого продукту. Системи перетворення властивостей текстильних матеріалів в основному визначають технічний та екологічний рівень виробничих систем, а також і їх потенціал.

Сукупність системних методів та відповідна послідовність їх застосування складає системну методологію, яка дає усестороннє уявлення про проблему (або мету) та шляхи її розв’язання (чи досягнення). Важливим при цьому є системне мислення, яке базується на інтелектуальних здібностях кадрового персоналу і можливості застосування ним системного підходу та аналізу. Виробничий та управлінський підхід до вирішення проблеми або

досягнення мети, який базується на системній методології є системним підходом [8].

Під структурою системи розуміють характер упорядкованості та організації зв'язків між елементами системи. Структура системи дозволяє пояснити, чому якість системи в цілому відрізняється від суми складових її елементів. Системи перетворення властивостей текстильних матеріалів можуть мати різну структуру. Система, її підсистема та надсистема в більшості утворюють ієрархічне розташування своїх частин в порядку від нижчого до вищого, хоча можливі й сітчасті варіанти, в яких усі підсистеми (елементи) пов'язані між собою складними зворотними зв'язками, впливають одна на іншу, і тому неможливо чітко виділити їх ієрархію.

У відповідності з загальною теорією систем кожна система має певні цілі свого функціонування, які визначають її основне призначення та характер її функціонування. Цілі (мета) функціонування системи в більшості досягаються певним виконанням відповідних задач. Вирішення цих задач складає зміст процесу функціонування, як системи в цілому, а також її складових підсистем та елементів. Ціллю функціонування системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів є контролювання послідовного перетворення властивостей похідних волокнистих продуктів (волокон) у властивості кінцевого продукту (пряжі, тканини), які відповідають вимогам НД.

В залежності від кінцевої цілі систему можна розглядати як в напрямку від входу до виходу, так і навпаки. При вирішенні задач, які пов'язані із прогнозуванням зміни властивостей текстильних матеріалів в процесі їх функціонування, доцільно розглядати процеси зміни їх властивостей від входу до виходу. Позначивши, починаючи з початку, систему прогнозування перетворення властивостей текстильних матеріалів сукупністю підсистем визначають, як можна розподілити цю виробничу систему.

1.1.1. Система перетворення властивостей текстильних матеріалів в процесі виготовлення

Якість текстильних матеріалів, оцінюється рядом показників, кожний з яких залежить від багатьох факторів. Частина цих показників регламентується стандартом, а інша частина визначається дослідним шляхом. Для того, щоб підвищити якість і розширити асортимент текстильних виробів, необхідно зробити правильний вибір вхідних показників і умов переробки сировини в залежності від їх призначення.

В текстильних виробництвах одночасно переробляється велика кількість неоднорідних та нерівномірних за своїми властивостями текстильних волокон, ниток та виробів. Багато процесів, які протікають у текстильному виробництві, базуються на ймовірних схемах і мають закономірності, що виявляються за допомогою методів теорії ймовірності та математичної статистики [13-21]. Системи, які мають місце в текстильній промисловості при виготовлені ниток (пряжі) та виробів, можуть бути представлені декількома способами: математичною; об'єктивною або операторною моделлю [23,24].

Моделювання систем прогнозування властивостей текстильних матеріалів, які формують їх якість включає в себе опис послідовності виконання процесів та операцій. Ці процеси та операції формують властивості готової продукції та напівфабрикатів, і направлені на забезпечення, підтримання та покращення якості продукції.

За допомогою математичної моделі визначають кількісні зв'язки між показниками якості готової продукції та властивостями похідної сировини, напівфабрикатів, технологічного устаткування та управляючими діями з боку відповідних органів. Застосування математичних моделей для прогнозування властивостей продукції та управлінню її якістю дозволяє попередньо визначити та оцінити результати тих або інших заходів і вибрати для реалізації ті з них, які є найбільш ефективні. Основою математичної моделі прогнозування

властивостей та управління якістю продукції текстильного виробництва може бути прийнята модель виробничого перетворення похідних матеріалів в готову продукцію.

В загальному випадку послідовність отримання математичної моделі системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів може бути поділена на чотири етапи. На першому етапі досліджувана система розподіляється на основні складові елементи. При цьому аналізуються взаємозв'язки між окремими структурними елементами і формуються основні закономірності цих зв'язків в математичних термінах, які дозволяють здійснювати не тільки якісний, а також і кількісний аналіз. На другому етапі вирішується пряма або зворотна задачі моделювання. Пряма задача полягає у визначенні вихідних параметрів по відомим зовнішнім та внутрішнім параметрам структурного елементу. Зворотна задача є більш складною і полягає у визначенні внутрішніх параметрів структурного елементу по відомим зовнішнім та вихідним параметрам. На третьому етапі проводиться аналіз отриманих результатів і порівняння їх з існуючими результатами. Важливість цього етапу полягає в тому, що при цьому встановлюється чи задовольняє прийнята модель критерію практики і яку ступінь точності за результатами спостережень має отримана інформація про об'єкт. Результати третього етапу є основою для проведення останнього четвертого етапу. Якщо результати аналізу в межах заданої точності співпадають з результатами експериментальних спостережень, то запропоновану модель можна вважати такою, що задовольняє поставленим вимогам. У випадку невідповідності потрібно модернізувати отриману математичну модель.

Моделювання систем управління та прогнозування якістю продукції включає в себе опис послідовності виконання процесів та операцій, які формують властивості готової продукції та напівфабрикатів і напрямлених на забезпечення, підтримання та покращення якості текстильних матеріалів.

Математичні моделі систем прогнозування властивостей та управління якістю текстильних матеріалів можуть бути побудовані за допомогою ймовірнісно-статистичних методів, методів планування експерименту та з використанням основних принципів технічної кібернетики [13-21].

Виходячи з вищезазначеного, в представленій монографії, за допомогою математичної моделі визначають кількісні зв'язки між показниками якості готової продукції та властивостями похідної сировини, напівфабрикатів, технологічного устаткування та управляючими діями з боку відповідних органів. Застосування математичних моделей в прогнозування властивостями та управлінню якістю продукції дозволяє попередньо визначити та оцінити результати тих, або інших заходів і вибрати для реалізації ті з них, які були найбільш ефективними. Це дозволить значно пришвидшити постановку продукції на виробництво, а також розширити асортимент текстильних ниток і виробів.

1.2. Аналіз напрямів та методів побудови математичних моделей властивостей текстильних матеріалів

Наукові дослідження в напрямку побудови математичних моделей властивостей продуктів прядильного виробництва проводяться в теоретичному та експериментальному напрямах.

Теоретичний напрям побудови математичної моделі властивостей текстильних матеріалів базується на детальному аналізі фізичної сутності процесів текстильного виробництва.

Відмічено [17, 19-23], що теоретичний метод побудови математичної моделі полягає в аналітичному досліджені фізичної сутності мікропроцесів з врахуванням загальних законів фізики процесів текстильного виробництва та макропроцесів з врахуванням рівнянь матеріального та енергетичного балансу. Також розглядається теоретичний метод побудови математичних моделей з

використанням законів фізики та механіки в процесах текстильного виробництва.

Так для визначення міцності пряжі враховуються механічні сили, які діють на ділянку пряжі та деформації, що виникають при цьому у волокні. Виходячи з цього визначається, що міцність пряжі є функцією ступеня скрученості, діаметра волокна та лінійної густини пряжі. Певна модель обривності пряжі може бути застосована на підприємствах, які переробляють різні види волокон. Для цього потрібно визначити значення вхідних параметрів відповідного текстильного виробництва.

Також досліджуються питання пов’язані з побудовою та використанням динамічних моделей процесів прядильного виробництва [23,24]. Динамічні моделі описують процеси за допомогою систем диференційних рівнянь та рівнянь в часткових похідних. Отримані при цьому залежності в подальшому підлягають аналізу з використанням апарату передатних функцій, частотного та спектрального аналізу, перетворень Фур’є та Лапласа. Це дозволило отримати результати по динаміці процесів прядильного виробництва, визначити вплив окремих факторів на статистичні та динамічні характеристики досліджуваних об’єктів, створити основу для систем автоматичного управління виробничими процесами прядильних виробництв.

Переваги теоретичного підходу до побудови математичних моделей полягають в широті їх застосування. До недоліків напрямку побудови динамічних моделей властивостей продуктів прядильного виробництва можна віднести наступні: обмеженість кількості врахованих факторів; складність застосування отриманих моделей до реальних даних, отриманих в умовах діючого виробництва; необхідність вирішення проблеми синтезу багатофакторної та багатокритеріальної системи управління якістю продукції на базі динамічних моделей з врахуванням реальних виробничих даних. Тому розроблені динамічні моделі в основному придатні для проведення наукових

досліджень і малопридатні для математичного опису реального виробничого процесу та прогнозування властивостей продуктів прядильного виробництва.

Виробничі процеси, які протікають в прядильному виробництві, є дуже складними на них впливає велика кількість взаємопов'язаних факторів [25-33]. На процеси прядильного виробництва можуть впливати випадкові (неконтрольовані) фактори, які можуть призводити до суттєвих впливів на властивості продуктів прядильного виробництва. Також на результати вимірювань впливають і методи визначення та реєстрації показників якості продуктів прядильного виробництва [34-41]. В умовах прядильного підприємства це, в більшості, є вибірковий лабораторний контроль, при якому значення показників якості продукції визначаються з достатньо великою похибкою, викликаючи значну „зашумленість" [11] отриманих результатів. Тому теоретичні моделі, отримані з використанням таких „зашумлених" даних, часто є некоректними. Отримані залежності є досить складними, при цьому кількість факторів, які впливають на ту чи іншу властивість продуктів, може бути недостатньою. Так теоретичні моделі, в більшості, незручні для практичного використання на реальному прядильному виробництві.

Виходячи з вищезазначеного, можна прийти до висновку, що чисто теоретичний підхід до побудови математичних моделей і прогнозуванні властивостей продуктів прядильного виробництва, є непрактичним. Він допускає ряд абстракцій, які спрощують реальний об'єкт, а також в отриманих формулах часто містяться параметри, визначення яких є досить проблематичним і недосконалим. Багато з отриманих теоретичних залежностей містять поправні коефіцієнти, які не мають точних границь використання, що призводить до довільного вибору їх числових значень. Теоретичний метод отримання математичних моделей в більшості можна використовувати при проектуванні нових процесів та в науково-дослідних роботах.

Експериментальний метод побудови математичних моделей властивостей продуктів прядильного виробництва полягає в отриманні експериментальних результатів та їх обробці. Експериментальні дані отримують безпосередньо на діючому устаткуванні, в лабораторних умовах або на фізичній моделі процесі - стенді.

Досить широке застосування експериментальних методів набуло з розвитком і впровадженням обчислювальної техніки та засобів автоматизації в прядильне виробництво та науково-дослідні лабораторії. Використовуючи сучасну обчислювальну техніку почали широко використовуватись методи імітаційного математичного моделювання в текстильному виробництві [42, 43].

В математичному моделюванні властивостей продуктів текстильних виробництв використовуються різні методи: найменших квадратів; зміщеного оцінювання; еволюційного планування та стійкі методи оцінювання. Розроблена [22] класифікація математичних моделей за способом їх отримання та представлення.

Системний аналіз в прогнозуванні властивостей текстильних матеріалів в умовах виробництва дозволить визначити ділянки, які мають недостатній рівень якості продукту, а також напрямки його підвищення, шляхом застосування методу оцінки ефективності системи.

Для вирішення складних погано формалізованих багатопараметричних задач прогнозування властивостей текстильних матеріалів в умовах виробництва доцільно застосовувати методи ідентифікації та кусково-локальної апроксимації. Це дозволить використати математичний апарат та сучасні ЕОМ типу ПК для створення програмних комплексів.

Прогнозування властивостей текстильних матеріалів математичними методами є перспективним та актуальним і дозволяє оперативно робити попередні висновки про властивості матеріалів ще на етапі їх проектування. Значущість цієї проблеми пов’язана із можливістю проектувати властивості текстильних матеріалів визначеної якості без значних витрат матеріальних та робочих ресурсів.

Розділ 2. НАУКОВІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ В ПРОГНОЗУВАННІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Для визначення наукових засад прогнозування властивостей текстильних матеріалів потрібен комплексний розгляд кожного виробничого перетворення їх властивостей, починаючи від підготування сировини і закінчуючи отриманням готової продукції. Ці питання вирішуються шляхом системного аналізу властивостей проміжних і кінцевих текстильних продуктів та виробничих процесів їх виготовлення з врахуванням факторів, які впливають на якість продукції [7-10].

Елемент системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів в межах зберігання її певної якості характеризується відносною неподільністю. Елементи цієї системи утворюють між собою угрупування, при цьому характер зв'язків між елементами відрізняється від характеру зв'язків між самими угрупуваннями і таким чином всередині системи утворюють підсистеми. Розподілення системи на підсистеми є діленням більшого процесу перетворення властивостей текстильних матеріалів на підпроцеси з відповідними входами та виходами. Кожний вхід певного процесу перетворення властивостей є виходом попереднього, а вихід цього підпроцесу є входом до наступного. Таким чином утворюється взаємозв'язок між процесами. Під зв'язками системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів розуміють: допоміжні транспортувальні засоби, за якими здійснюється подача сировини, проміжних продуктів і відведення готової продукції; лінії за якими передається енергія та сировина; сигнальна система, яка забезпечує інформаційний обмін між елементами системи.

Кожна система може бути розглянутою як підсистема (елемент) іншої системи більш високого порядку (надсистеми), хоча одночасно кожен елемент надсистеми може бути системою більш нижчого порядку. Багаторівневий

характер є визначальною рисою складних систем. Так властивості стрічки із чесальних машин можуть бути розглянуті, як окрема система, яка складається з підсистем (вхідні параметри волокнистого матеріалу та основних робочих органів тощо). В свою чергу отримана чесана стрічка, входить підсистемою в систему більш високого рангу (надсистему), якщо розглядати загальну систему зміни властивостей волокнистого продукту в процесі виготовлення пряжі (стрічки зі стрічкових машин, рівниця, пряжа тощо).

Система перетворення властивостей текстильних матеріалів в процесі їх виготовлення є цілеспрямованим процесом створення корисної продукції шляхом взаємодії різних виробничих і організаційних підсистем. В свою чергу ця система є сукупністю взаємопов'язаних ліній перетворення властивостей продукції та процесів, які взаємодіють в межах виробничої системи з метою виготовлення кінцевого продукту.

Сукупність системних методів та відповідна послідовність їх застосування складає системну методологію, яка дає усестороннє уявлення про проблему (або мету) та шляхи її розв'язання (чи досягнення). Важливим при цьому є системне мислення, яке базується на інтелектуальних здібностях кадрового персоналу і можливості застосування ним системного підходу та аналізу. Творчий та управлінський підхід до вирішення проблеми або досягнення мети (отриманні текстильного матеріалу з певними властивостями), який базується на системній методології є системним підходом.

У відповідності з загальною теорією систем кожна система має певні цілі свого функціонування, які визначають її основне призначення та характер її функціонування. Цілі (мета) функціонування системи в більшості досягаються певним виконанням відповідних задач. Вирішення цих задач складає зміст процесу функціонування, як системи в цілому, а також її складових підсистем та елементів. Ефективність функціонування системи прийнято визначати відповідними критеріями [7-12].

Під структурою системи прогнозування властивостей текстильного матеріалу потрібно розуміти характер упорядкованості та організації зв'язків між елементами системи. Структура системи дозволяє пояснити, чому якість системи в цілому відрізняється від суми складових її елементів. Системи перетворення властивостей текстильних матеріалів в процесі їх виготовлення можуть мати різну структуру. Система, її підсистема та надсистема в більшості утворюють ієрархічне розташування своїх частин в порядку від нижчого до вищого, хоча можливі й сітчасті варіанти, в яких усі підсистеми (елементи) пов'язані між собою складними зворотними зв'язками, впливають одна на іншу, і тому інколи неможливо чітко виділити їх ієрархію.

На властивості текстильних ниток та виробів безпосередньо впливають властивості похідної сировини, стан технологічного устаткування та рівень їх обслуговування. Таким чином, процеси, які формують властивості проміжних продуктів та текстильних ниток та виробів складають певну систему.

Систему прогнозування властивостей текстильних матеріалів в процесі їх виготовлення можна представити у вигляді певної схеми, при цьому виділити визначені сторони об'єкту, які необхідні для представлення його як системи, а інші сторони залишити без розгляду. В залежності від цілей функціонування системи в одному і тому ж об'єкті можна виділити різні його сторони, які мають суттєве значення для розгляду об'єкту як системи. Така система має велику кількість властивостей, які поєднуючись визначають якість системи. В залежності від точки зору дослідника в системі прогнозування властивостей текстильних матеріалів можливо розглядати певні її властивості, які можуть висвітлити досліджуваний текстильний матеріал з нового боку. Наприклад, процес зміни властивостей волокнистого напівфабрикату на рівничній машині можна розглядати не тільки з точки зору впливу властивостей вхідного продукту та параметрів роботи устаткування, а також і з точки зору впливу вихідних параметрів рівниці на властивості пряжі тощо.

2.1. Розробка загального алгоритму системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів

Системний аналіз прогнозування зміни властивостей текстильних матеріалів в процесі їх виготовлення включає в себе наступні етапи:

- визначення та чітке формування цілі функціонування системи;
- вибір показників ефективності функціонування системи;
- складання переліку факторів, які діють на систему;
- створення математичної моделі системи.

Доцільно розкрити сутність цих етапів. Цілі функціонування системи визначають з виходячи з практичної доцільності, асортименту текстильних матеріалів, особливостей розвитку сучасної техніки та технології, враховуючи при цьому економічну доцільність.

Конкретний показник ефективності системи вирішує одну з певних задач:

- підвищення якості та розширення асортименту продукції при забезпеченні визначеної продуктивності та собівартості;
- зниження собівартості продукції при збереженні показників її якості та визначеної продуктивності устаткування;
- підвищення продуктивності устаткування за рахунок інтенсифікації процесів при збереженні заданих показників якості та собівартості продукції.

Перелік факторів, які діють на систему визначається конкретним видом сировини, устаткування, рівнем його обслуговування тощо. Математичне моделювання системи полягає у визначенні математичних залежностей властивостей текстильних матеріалів від певних факторів на кожному виробничому етапі їх перетворення і утворенні загальної математичної моделі всієї системи.

Системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів відносяться до великих систем, в яких процес зміни властивостей матеріалів від дозування сировини до випуску готової пряжі важко описати у вигляді однієї простої системи. Для такої системи виділяють підсистеми, які можуть включати

в собі від двох та більше операцій виробничого перетворення властивостей текстильних матеріалів. При цьому виробничі лінії з виготовлення текстильних ниток та виробів доцільно розглядати як систему процесів, які проходять в машинах і агрегатах і формують властивості текстильних продуктів, а не як систему машин і агрегатів.

В період пуску виробничої лінії, зміни в системі прогнозування властивостей текстильних матеріалів мають напрямок до досягнення цілісності, що виражається у розвитку відношень між частинами системи, до цього не пов’язаними між собою. І навпаки в період зупинки система прямує в напрямку незалежності її окремих частин. Властивість системи швидко досягати цілісності є важливою умовою виготовлення якісної продукції, зростання продуктивності праці та зменшення кількості відходів. Таким чином, цілісність системи, зберігання властивостей та стійкість до зовнішніх чинників зумовлюють наявність певної організованості всередині системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів.

Управління системою прогнозування властивостей текстильних матеріалів є процесом проведення її упорядкованості і приведенням її у відповідність до поставлених цілей та задач системи. Для виконання оптимального управління системою потрібна інформація про її роботу та роботу усіх її частин [44] .

В структурі підсистеми управління процесом перетворення властивостей текстильних матеріалів можна виділити три блоки: об’єкт управління; регулятор та блок оптимізації (рис.2.1).

Завдяки взаємодії цих блоків управління системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів в прямому та зворотному напрямках підсистема пристосовується до зовнішнього середовища шляхом перебудови своєї структури.

Об’єктом управління системи можуть бути параметри матеріального потоку та виробничого процесу, які впливають на показники якості напівфабрикатів та готової продукції, або виробничий процес, який практично впливає на зміну властивостей цих продуктів.

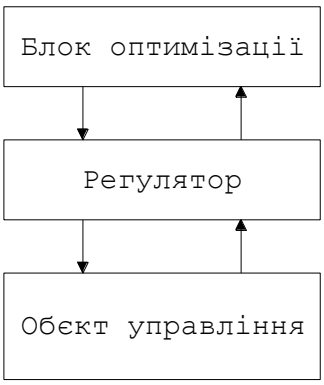


Рис. 2.1. Принципова схема підсистеми управління виробничим процесом

Регулятор системи – це блок оперативно-календарного управління, який може включати в себе наступні етапи: планування показників якості продукції та кількісних значень параметрів виробничого процесу у відповідності з нормативними документами (НД); планування кількості продукції або напівфабрикатів; визначення потреби в ресурсах і їх використання на протязі місяця, декади, доби тощо; організація, облік, контроль та аналіз властивостей сировини, готової продукції та напівфабрикатів, а також їх використання у визначені періоди.

Блок оперативного управління системи (регулятор) по каналам прямого зв’язку (планові завдання, розпорядження тощо) визначає режими виробничого процесу необхідні для досягнення визначеної якості готової продукції та напівфабрикатів, а потім по каналам зворотного зв’язку (безпосередні виміри, документи оперативного обліку та контролю) приймає рішення, які забезпечують необхідну якість готової продукції та напівфабрикатів завдяки підтриманню параметрів виробничого процесу на заданому рівні. Якість роботи цього блоку визначається величиною відхилення від заданого рівня якості

продукції та техніко-економічних показників. Функції регулятора виконує управлінський персонал виробничих ділянок виробництва.

Блок оптимізації системи визначає стратегію виробничого процесу: підтримує взаємозв'язки з зовнішнім середовищем (об'єднанням, галуззю промисловості тощо); регулятором (оперативним управлянням) та зв'язок з блоком формування властивостей продукції (виробничим процесом). Функції цього блоку виконує апарат управління підприємством.

Вплив зовнішніх факторів на систему в більшості неоднозначний та невизначений (недостатність сировини, додаткові завдання до формування властивостей спеціальної продукції тощо). Для забезпечення неперервності технологічної системи, блок оптимізації повинен приймати оптимальні управлінські рішення, які усували б дію негативних зовнішніх факторів на якість продукції та виробничий процес в цілому.

Для прогнозування та підтримання стабільної якості продукції і випуску її в заданому об'ємі потрібне вирішення ряду задач:

- вхідного контролю якості сировини та допоміжних матеріалів;
- контролю та суворого дотримання технологічної та виробничої дисципліни;
- контролю якості напівфабрикатів за всіма виробничими переходами;
- контролю технологічного устаткування, оснащення та допоміжних інструментів і контрольно-вимірювальних засобів;
- контролю якості роботи обслуговуючого персоналу та підвищення його кваліфікації;
- систематичного аналізу причин появи дефектів та зниження сортності продукції на всіх переходах її виготовлення;
- суворого дотримання вимог НД на сировину, допоміжні матеріали, напівфабрикати, готову продукцію, технологічне устаткування тощо.

Якість складної системи прогнозування властивостей готової продукції та напівфабрикатів прийнято визначати показниками ефективності, які оцінюють ступінь пристосування системи до виконання поставлених перед нею цілей та вище перерахованих задач.

Для цього потрібно знати необхідну оперативну інформацію про роботу системи перетворення властивостей текстильних матеріалів в процесі виробництва та усіх її елементів. Своєчасне реагування на зміну виробничої ситуації дозволить вчасно впливати на властивості продукції та оптимізувати процес зміни її властивостей.

Вищезазначене може бути вирішеним за допомогою системного підходу та математичного моделювання перетворення властивостей та якості текстильних матеріалів в процесі їх виробництва. Для цього потрібно скласти загальний алгоритм системи та визначити основні структурно-функціональні моделі та блоки перетворення властивостей продукції в процесі її виробництва.

В текстильних виробництвах одночасно переробляється велика маса неоднорідних та нерівномірних за своїми властивостями текстильних волокон та ниток. Багато процесів, які протікають у текстильному виробництві, базуються на імовірнісних схемах і мають закономірності, які виявляються за допомогою методів теорії ймовірності та математичної статистики. Системи, які мають місце в текстильній промисловості при виготовлені текстильних матеріалів, можуть бути представлені декількома способами: математичною; об’єктивною або операторною моделлю [9, 11, 45].

Моделювання систем управління та прогнозування якістю продукції включає в себе опис послідовності виконання процесів та операцій, які формують властивості готової продукції та напівфабрикатів, і направлені на забезпечення, підтримання та покращення якості продукції. За допомогою математичної моделі визначають кількісні зв’язки між показниками якості готової продукції та властивостями похідної сировини, напівфабрикатів, технологічного устаткування та управляючими діями з боку відповідних органів. Застосування математичних моделей для прогнозування властивостей продукції та управлінню її якістю дозволяє попередньо визначити та оцінити результати тих або інших заходів і вибрати для реалізації ті з них, які є

найбільш ефективні. Основою математичної моделі прогнозування властивостей та управління якістю продукції текстильного виробництва може бути прийнята модель виробничого перетворення похідних матеріалів в готову продукцію.

В загальному випадку послідовність отримання математичної моделі може бути поділена на чотири етапи. Досліджувана технічна система на першому етапі розподіляється на основні складові елементи. При цьому аналізуються взаємозв'язки між окремими структурними елементами і формуються основні закономірності цих зв'язків в математичних термінах, які дозволяють здійснювати не тільки якісний, а також і кількісний аналіз. На другому етапі вирішується пряма або зворотна задачі моделювання. Пряма задача полягає у визначенні вихідних параметрів по відомим зовнішнім та внутрішнім параметрам структурного елементу. Зворотна задача є більш складною і полягає у визначенні внутрішніх параметрів структурного елементу по відомим зовнішнім та вихідним параметрам. На третьому етапі проводиться аналіз отриманих результатів і порівняння їх з існуючими результатами. Важливість цього етапу полягає в тому, що при цьому встановлюється чи задовольняє прийнята модель критерію практики і яку ступінь точності за результатами спостережень має отримана інформація про об'єкт. Результати третього етапу є основою для проведення останнього четвертого етапу. Якщо результати аналізу в межах заданої точності співпадають з результатами експериментальних спостережень, то запропоновану модель можна вважати такою, що задовольняє поставленим вимогам. У випадку невідповідності потрібно модернізувати отриману математичну модель.

Моделювання систем управління та прогнозування якістю продукції включає в себе опис послідовності виконання процесів та операцій, які формують властивості готової продукції та напівфабрикатів і напрямлених на забезпечення, підтримання та покращення якості продукції. Математичні

моделі систем управління якістю продукції можуть бути побудовані за допомогою статистичних методів, методів планування експерименту та з використанням основних принципів кібернетики.

За допомогою математичної моделі визначають кількісні зв'язки між показниками якості готової продукції та властивостями похідної сировини, напівфабрикатів, технологічного устаткування та управляючими діями з боку відповідних органів. Застосування математичних моделей в прогнозуванні властивостями та управлінню якістю продукції дозволяє попередньо визначити та оцінити результати тих, або інших заходів і вибрати для реалізації ті з них, які були найбільш ефективними.

Основою математичної моделі системи прогнозування властивостей та управління якістю продукції текстильного виробництва може бути прийнята модель виробничого перетворення похідних матеріалів в готову продукцію. На цьому рівні формуються всі задані параметри продукції, які визначають її якість [8-10, 44, 45].

Для побудови математичної моделі та її використання для прогнозування властивостей та управління якістю продукції застосовують загальний алгоритм (рис.2.2). В алгоритм включають операції аналізу та синтезу, які виконуються в певному порядку, і які закінчуються формуванням рішень, напрямлених на визначення необхідного рівня показників якості продукції. В більш загальному вигляді модель перетворення властивостей продукції в процесі виробництва може бути побудована у вигляді схеми, представленої на рис.2.3.

Матеріальний вхідний потік $m_0(t)$, який містить данні про властивості похідних матеріалів (сировини, напівфабрикатів тощо), поступає на вхід системи, яка має власні параметри B_T, і перетворюється нею у вихідний матеріальний потік $m(t)$ з власними властивостями (напівфабрикатів або готової продукції). Це перетворення здійснюється шляхом упорядкованої сукупності технологічних операцій, які складають оператор T.

Таким чином, математична модель перетворень властивостей продукції в процесі виробництва може бути представлена наступним рівнянням:

$$m(t) = T\left[m_0(t), B_T(u), k, E, S\right] \qquad (2.1)$$

Рис. 2.2. Загальна схема прогнозування властивостей текстильних матеріалів

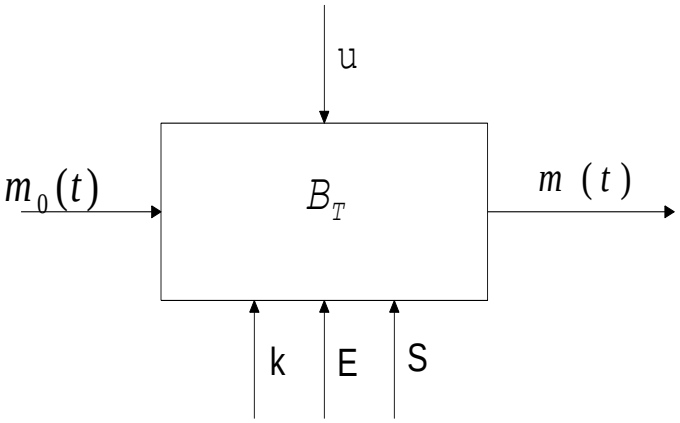


Рис. 2.3. Схема перетворення властивостей продукції в процесі виробництва

де B_T – параметри перетворень, які описують властивості устаткування, характеристики виробничого процесу, особливості метрологічного забезпечення тощо; u – дії управління, які впливають на параметри перетворення $B_T(u)$; k – характеристики робочих кадрів, які приймають участь в процесі виробництва; S – умови навколишнього середовища, які впливають на хід виробничого процесу; E – параметри енерговитрат, які необхідні для підтримання виробничого процесу.

Функція $m(t)$ (рис. 2.3) є математичною моделлю (описом) потоку продукції, в яку входять характеристики x_1, x_2, x_3 ..., x_n, які описують властивості певної продукції та визначають рівень її якості. Кількісний показник рівня якості продукції K вводиться наступним функціоналом: $K = T^n[m(t)] = t_2 / t_1$ де t_1 та t_2 - показники часу, в інтервалі між якими визначається якість продукції.

Показник продукції K в задачі прогнозування властивостей продукції та управлінню її якістю є цільовою функцією, а сама задача зводиться до такого вибору управляючих дій u, які сприяють досягненню максимального (оптимального) значення показника K при обмеженнях, які накладені на величини k, E та S, а також при заданих (фіксованих) значеннях властивостей вхідного матеріального потоку $m_0(t)$.

Для вирішення вищезазначеної задачі необхідно знати вид оператора T, який визначають шляхом аналізу процесу еволюції перетворення властивостей

текстильних матеріалів в процесі виробництва. Для цього процес перетворення властивостей текстильних матеріалів розкладають на прості операції, описуючи ці елементарні операції відповідними операторами і в подальшому синтезуючи з них загальний оператор T перетворення властивостей продукції в процесі виготовлення.

Схему перетворень властивостей продукції в процесі виробництва, в якій реалізується елементарна операція, можна назвати елементарною виробничою чарункою. Таким чином вся система може бути представлена поєднанням (послідовним, паралельним або змішаним) різних елементарних виробничих чарунок [11, 45-47]. Конкретні елементарні чарунки виробничого процесу можуть бути досить специфічними в залежності від характеру виробничого перетворення та місця у виробничому процесі, але всі вони можуть бути описані структурно-функціональною моделлю, представленою на рис. 2.4.

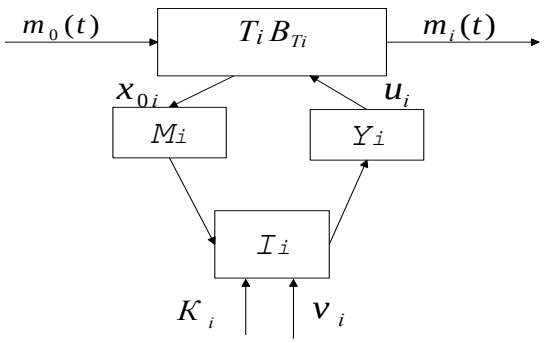


Рис. 2.4. Структурно-функціональна модель елементарної чарунки виробничого процесу перетворення властивостей продукції

де T_i, - ділянка виробничого перетворення волокнистого продукту; B_{T_i} - параметри ділянки перетворення властивостей продукції; M_i, - метрологічна ділянки; I_i, - інформаційно-логічна ділянка управління; K_i - цільова модель; Y_i - виконавча ділянка; x_{0i} - певна властивість волокнистого потоку; u_i, - дія управління; v_i - зовнішні дії управління

Структурно-функціональна модель елементарної чарунки (рис. 2.4), як і люба система, складається з основних функціональних ділянок.

Модель функціонує наступним чином. На ділянці виробничого перетворення волокнистого продукту (T_i,) на волокнистий матеріал, безпосередньо здійснюється фізична, хімічна або інша матеріальна дія. Метрологічна ділянка (M_i) виконує функцію генерації (отримання) інформації про властивості волокнистого продукту шляхом інструментальних вимірювань або спостерігання. Інформаційно-логічна ділянка управління (I_i) складає в цілісну модель поточної ситуації в якій інформація, отримана ділянкою M_i порівнюється з цільовою моделлю K_i (вимоги та норми нормативної документації тощо), на базі чого виробляється рішення управління (алгоритм). Виконавча ділянка (Y_i) перетворює інформаційне повідомлення (що надійшло від певної характеристики потоку x_{0i}) в дію управління u_i, яке безпосередньо впливає на параметри ділянки перетворення властивостей продукції B_{T_i}, і які змінюються на протязі дії виробничого процесу в елементарній чарунці. Зовнішні дії управління (v_i,) поступають на відповідну елементарну чарунку від ділянки управління більш вищого рівня.

i-ї елементарної чарунки виробничого процесу перетворення властивостей продукції може бути описано системою наступних операторних рівнянь:

$$m_i(t) = T_i\left[m_{0i}(t-\Delta t), B_{T_i}(u_i), k_i, S_i, E_i\right]; \qquad (2.2)$$

$$u_i = Y_i(x_{0i}),\ ; \qquad u_i = I_i\left(\sum K_i, \sum v_i\right); \qquad (2.3)$$

$$\sum K_i = M_i\left[m_{0i}(t), B_{T_i}\right]; \qquad (2.4)$$

Наведена система рівнянь є загальним видом математичної моделі, яка описує кожної елементарної чарунки виробничого процесу перетворення властивостей продукції. Для певних чарунок ці рівняння мають фізичний смисл в залежності від характеру оператора T - перетворення продукції в процесі виробництва

Блоки виробничого процесу перетворення властивостей продукції є складними підсистемами (ділянки, цехи тощо), які об'єднуючись між собою, утворюють загальну систему виробництва і прогнозування властивостей та управління якістю текстильних матеріалів.

Окремі елементарні чарунки виробничого процесу перетворення властивостей текстильних матеріалів об'єднуються в блоки (рис.2.5) позначення в яких аналогічні позначенням представленим на рис 2.4.

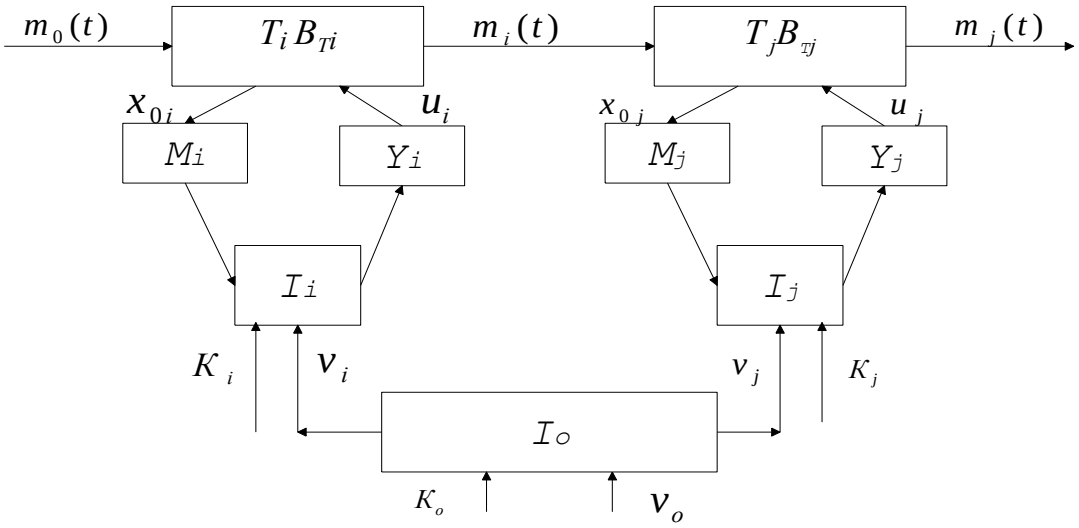


Рис. 2.5. Блоки чарунок перетворення властивостей продукції в процесі виробництва

Система прогнозування властивостей вовняної пряжі та тканин складається з двох підсистем – підсистеми прогнозування властивостей вовняної пряжі та підсистеми прогнозування властивостей вовняних тканин [45-47].

2.2. Особливості підсистеми прогнозування властивостей пряжі

Застосування системного підходу та аналізу для прогнозування зміни властивостей текстильних ниток (пряжі) в процесі їх виготовлення полягає в розробці структурно-функціональної схеми виробництва та визначенні:

- показників якості вхідної продукції (сировини, матеріалів, напівфабрикатів) за якими проводиться оцінка їх якості та сортування;
- кількісних характеристик процесу і контрольованих показників якості вихідної продукції та напівфабрикатів;
- характеристик вихідної продукції та напівфабрикатів, які контролюються в процесі виробництва.

За основну ціль функціонування системи прогнозування властивостей та управління якістю продуктів прядильного виробництва можна прийняти підвищення якості виготовленої пряжі при збереженні заданої продуктивності устаткування. Для досягнення цієї цілі визначаються домінуючі параметри системи та відповідно домінуючі виробничі блоки підсистем.

Виходячи з аналізу функціонування системи прогнозування властивостей та управління якістю продукції прядильного виробництва потрібно розподілити її на виробничі блоки та елементарні виробничі чарунки для яких оператори T мають подібний характер. При цьому визначаються параметри B_T зміни властивостей продукту для кожної з елементарних чарунок виробничого процесу, блоків та системи в цілому.

Структурно-функціональна схема зміни властивостей продукції в процесі виробництва будується на базі безпосереднього вивчення виробничого процесу і є якісною мовно-графічною моделлю, яка відображає основні цикли виробничого процесу, які впливають на зміну властивостей продукту. Така схема дозволяє з’ясувати особливості зміни властивостей продукту в процесі виробництва, а також розподілити її на відносно незалежні послідовні та паралельні складові для того, щоб аналізувати ці складові окремо.

На рис. 2.6, 2.7 та 2.8 відповідно графічно відображено: послідовність технологічних операцій в процесі яких змінюються властивості волокнистого продукту; метрологічних контролюючих операцій, які визначають ступінь зміни властивостей та відповідність їх нормованим значенням; результати дії управляючих факторів на хід зміни властивостей волокнистого продукту.

Розглянемо приклад розподілу системи зміни властивостей чистововняних напівфабрикатів та пряжі з натуральної вовни (не менше 60к) в процесі її виготовлення в прядильному виробництві. В цілому таку систему умовно можна поділити на декілька частин (підсистем): I - приготування чесаної стрічки; II – приготування гребінної стрічки, фарбування та прасування стрічок; III – приготування рівниці та виготовлення пряжі. На рис.2.6 представлена блок-схема зміни властивостей волокнистого продукту в I частині прядильного виробництва.

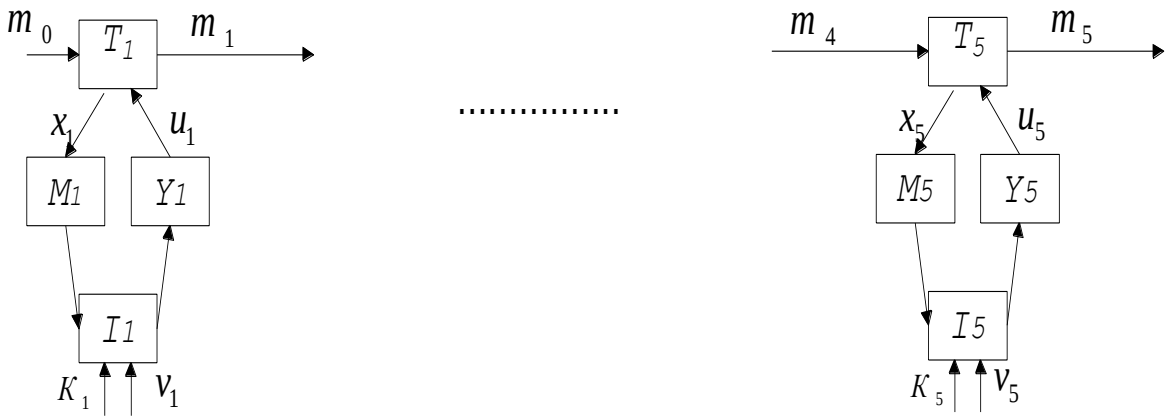


Рис. 2.6. Блок-схема зміни структури та властивостей волокнистого продукту в приготуванні чесаної стрічки (I частина прядильного виробництва)

де m_0 ... m_4 – волокнистий продукт; T_1 ... T_5 – ділянки виробничого перетворення властивостей волокнистого продукту; M_1 ... M_4 - ділянки оцінки стану волокнистого продукту; x_1 ... x_5 – значення властивостей волокнистого матеріалу відповідно після певного переходу; I_1 ... I_5 – прийняття рішення, що до якості волокнистого продукту та роботи устаткування після кожного переходу відповідними посадовими особами; K_1 ... K_5 – стандарти та нормативи з якості волокнистої маси відповідно до її розпушування та очищення; ν_1 ... ν_5 – розпорядження керівництва вищого рівня, щодо корегування властивостей вихідного продукту у відповідності з замовленням або іншими потребами; Y_1 ... Y_5 – ділянки виконання прийнятих керівних рішень; u_1 ... u_5 – відповідні дії виконавчої ділянки (Y) на роботу технологічного устаткування для досягнення визначених властивостей волокнистого продукту.

На рис. 2.7 представлена блок-схема зміни властивостей волокнистого продукту в II частині прядильного виробництва.

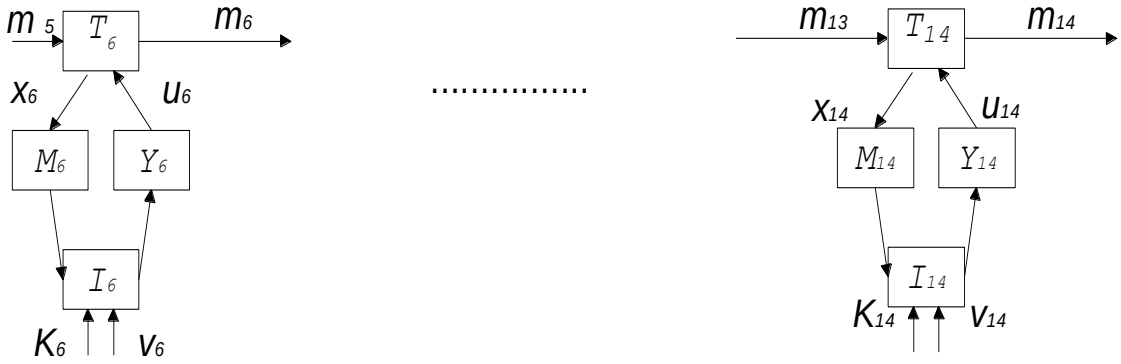


Рис. 2.7. Блок-схема зміни структури та властивостей волокнистого продукту в приготуванні гребінної стрічки (II частина прядильного виробництва)

де - m_6 ... m_{14} – властивості стрічки після певних виробничих переходів; T_6 ... T_{14} – ділянки виробничого перетворення властивостей волокнистого продукту;
M_6 ... M_{14} – ділянки оцінки властивостей волокнистих продуктів відповідно після певних виробничих переходів; x_6 ... x_{14} – значення властивостей волокнистого продукту відповідно після певного переходу; I_6 ... I_{14} – прийняття рішення, що до якості волокнистого продукту та роботи устаткування після кожного переходу відповідними посадовими особами ; K_6 ... K_{14} – стандарти та нормативи з якості волокнистого продукту у відповідності з технологічним переходом; ν_6 ... ν_{14} – розпорядження керівництва вищого рівня, щодо корегування властивостей волокнистого продукту у відповідності з замовленням або іншими потребами; Y_6 ... Y_{14} – ділянки виконання прийнятих керівних рішень; u_6 ... u_{14} - відповідні дії виконавчої ділянки (Y) на роботу технологічного устаткування для досягнення визначених властивостей волокнистого продукту (при стабільній якості волокнистого продукту та нормованій роботі устаткування дії (u) спрямовані тільки для технічного обслуговування устаткування).

На рис. 2.8 представлена блок-схема зміни властивостей волокнистого продукту в III частині прядильного виробництва.

Рис. 2.8. Блок-схема зміни структури та властивостей волокнистого продукту в приготуванні рівниці та отриманні однониткової пряжі (III частина прядильного виробництва)

де m_{15} – m_{20} – властивості волокнистого продукту; T_{15} –T_{20} – ділянки виробничого перетворення властивостей волокнистого продукту; M_{15} ... M_{20} – ділянки оцінки властивостей волокнистих продуктів відповідно після певних виробничих переходів; x_{15} ... x_{20} – значення властивостей волокнистого продукту відповідно після певного переходу; I_{15} ... I_{20} – прийняття рішення, що до якості волокнистого продукту та роботи устаткування після кожного переходу відповідними посадовими особами; K_{15} ... K_{20} – стандарти та нормативи з якості волокнистого продукту у відповідності з технологічним переходом; v_{15} ... v_{20} – розпорядження керівництва вищого рівня, щодо корегування властивостей волокнистого продукту у відповідності з замовленням або іншими потребами; Y_{15} ... Y_{20} – ділянки виконання прийнятих керівних рішень (інженер-механік цеху; змінний майстер; механік); u_{15} ... u_{20} – відповідні дії виконавчої ділянки (Y) на роботу устаткування для досягнення визначених властивостей волокнистого продукту.

Представлені на рис. 2.6, 2.7 та 2.8 блок-схеми зміни властивостей волокнистих напівфабрикатів та пряжі в процесі виробництва мають дещо подібний вигляд, але вони відрізняються між собою виробничими переходами (устаткуванням), волокнистими напівфабрикатами та їх параметрами, нормативними документами, а також засобами впливу на параметри виробничого процесу, які призводять до зміни властивостей волокнистих продуктів.

Так на рис. 2.6 представлена блок-схема має волокнистий продукт m_0 ... m_4 у вигляді маси з жмутків волокон, які після технологічних переходів T_1 ... T_4 набувають відповідних якісних характеристик (розпушеності, очищення, замаслення, рівномірного розподілу по об’єму (змішування) та стану готовності до чесання (вилежування)) при цьому волокнисті жмутки мають подібні характеристики структури. Кінцевим продуктом цієї блок-схеми є чесана стрічка m_5, яка має якісно інші структурні характеристики (ступінь розпрямленості та паралелізації волокон) і властивості (нерівноту за лінійною густиною тощо), ніж волокниста маса, яка складається з жмутків.

На рис. 2.7 показана блок-схема перетворення чесаної стрічки в гребінну в результаті дії на неї різних виробничих переходів T_6 ... T_{14}. Вказані виробничі переходи впливають на якісний стан стрічки (нерівноту за лінійною густиною, ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, ступінь зафарбування, готовності до другого гребенечесання, наявності коротких волокон та дефектів тощо).

Після кожного виробничого переходу стрічку контролюють за відповідними якісними показниками. Кінцевим продуктом в цьому випадку є гребінна стрічка після вилежування, яка підготовлена (рівномірно змащені та релаксовані волокна) до останнього блоку виробничих переходів.

На рис. 2.8 показана блок-схема перетворення гребінної стрічки в рівницю, а в подальшому і в пряжу. Рівниця відрізняється від гребінної стрічки структурою (додатково визначають число кручень на одиницю довжини тощо) та властивостями (додатково можуть визначати міцність річниці тощо). Кінцевим продуктом виробничого процесу є однониткова пряжа, яка якісно відрізняється від рівниці структурою та механічними властивостями. На усі напівфабрикати прядильного виробництва та пряжу є відповідні нормативні документи, які регламентують відповідність їх властивостей визначеним нормам. Контролюючи ці показники, та знаючи вплив на них параметрів виробничого процесу можна прогнозувати зміну властивостей продуктів прядіння та контролювати їх якість в процесі виготовлення пряжі.

Стан системи в кожний момент часу визначається переліком значень параметрів волокнистого продукту та роботи устаткування, які характеризують систему. Для спрощення роботи з прогнозування властивостей волокнистого продукту в процесі виробництва потрібно виділити незначну кількість незалежних один від одного параметрів, які достатньо повно характеризують систему з точки зору досягнення визначеної цілі.

На наступному етапі системного аналізу зміни властивостей волокнистого продукту визначається вид функції його перетворення в кожному блоці і на основі цих функцій будується загальна функція для всього виробничого ланцюжка виготовлення пряжі. Отримана таким чином загальна функція буде математичною моделлю зміни та прогнозування властивостей волокнистого продукту в процесі виготовлення пряжі.

В подальшому потрібно встановити якісні та кількісні зв’язки між параметрами процесу зміни властивостей волокнистого продукту при його виготовлені і знайти оператор T для подальшого його використання у прогнозуванні властивостей волокнистого продукту та управлінні його якістю.

Для побудови математичної моделі системи прогнозування властивостей продукції в процесі її виготовлення потрібно визначитися з підходами та методами кількісного опису зміни властивості продукції в процесі дії певної виробничої операції; розробити методики та провести експерименти по визначенню показників якості волокнистих продуктів та характеристик виробничих процесів, які впливають на їх якість; проаналізувати та описати процеси управління виробництвом на всіх рівнях; вивчити та змоделювати фактори, які визначають вплив людини на якість продукції в процесі її виготовлення та управління [44-54].

Виходячи з вищенаведеного аналізу блок-схеми прядильного виробництва, система прогнозування властивостей пряжі в процесі її виготовлення є єдиною, на вході якої є сировина і на виході пряжа. Поряд з цим в цій системі можна виділити окремі підсистеми (блоки) і вирішувати задачі прогнозування властивостей та управління якістю в цих окремих блоках.

Задачі прогнозування властивостей продукції в більшості вирішуються на стадії підготування виробництва з метою забезпечення відповідної якості пряжі та нормального протікання процесу її виробництва (зменшення обривності, відпадків, збільшення продуктивності устаткування тощо).

2.3. Особливості підсистеми прогнозування властивостей тканини

Прогнозування властивостей вовняних тканин в процесі їх виготовлення полягає в розробці структурно-функціональної схеми виробництва тканини та визначенні:

- показників якості ниток за якими проводиться оцінка їх якості та сортування;
- кількісних характеристик процесу і контрольованих показників якості сирової та готової тканини;
- характеристик сирової та готової тканини, які контролюються в процесі виробництва;

За основну ціль функціонування системи прогнозування властивостей тканин можна прийняти підвищення якості виготовленої тканини при збереженні заданої продуктивності устаткування. Для цього визначаються домінуючі параметри системи та відповідно домінуючі виробничі блоки підсистем.

Виходячи з аналізу функціонування системи прогнозування властивостей тканини потрібно розподілити її на виробничі блоки та елементарні виробничі чарунки для яких оператори T мають подібний характер. При цьому визначаються параметри B_T зміни властивостей продукту для кожної з елементарних чарунок виробничого процесу, блоків та системи в цілому.

Структурно-функціональна схема зміни властивостей тканини в процесі виробництва будується на базі безпосереднього вивчення виробничого процесу її виготовлення. Умовно підсистему прогнозування властивостей тканин можна поділити на два блоки які мають контрольовані параметри. До першого блоку можна віднести прогнозування властивостей сирової тканини, а до другого – готової тканини.

На рис. 2.9 відповідно графічно відображено: послідовність виробничого перетворення тканини в процесі якого змінюються її властивості; метрологічних контролюючих операцій, які визначають ступінь зміни властивостей та відповідність їх нормованим значенням; результати дії управляючих факторів на хід зміни властивостей волокнистого продукту.

Побудова математичної моделі системи прогнозування властивостей сирової та готової тканини також полягає у відповідних діях розглянутих вище.

Рис. 2.9. Блок-схема виробничого перетворення властивостей вовняних тканин

де m_{20} – властивості пряжі на вході ткацького виробництва; m_{21} – властивості сирової тканини; m_{22} – властивості готової тканини; T_{21} – ділянка виробничого перетворення властивостей сирової тканини; T_{22} – ділянка виробничого перетворення властивостей готової тканини; M_{21} – ділянка оцінки властивостей сирової тканини; M_{22} – ділянка оцінки властивостей готової тканини; x_{21} – значення властивостей сирової тканини; x_{22} – значення властивостей готової тканини; I_{21} , I_{22} – прийняття рішення, що до якості тканини та роботи устаткування після кожного виробничого переходу відповідними посадовими особами; K_{21} – стандарти та нормативи з якості сирової тканини; K_{22} – стандарти та нормативи з якості готової тканини; v_{21} , v_{22} – розпорядження керівництва вищого рівня, щодо корегування властивостей сирової або готової тканини у відповідності з замовленням або іншими потребами; Y_{21}, Y_{22} – ділянки виконання прийнятих керівних рішень; u_1 ... u_5 – відповідні дії виконавчої ділянки (Y) на роботу устаткування для досягнення визначених властивостей сирової або готової тканини.

Потрібно визначитися з підходами та методами кількісного опису зміни властивості продукції в процесі дії певної виробничої операції; розробити методики та провести експерименти по визначенню показників якості сирової та готової тканини та характеристик виробничих процесів, які впливають на їх якість; проаналізувати та описати процеси управління виробництвом на всіх рівнях; вивчити та змоделювати фактори, які визначають вплив людини на якість сирової та готової тканини, а також дії управління та нормативні документи.

Виходячи з вищенаведеного аналізу блок-схеми виробництва сирової та готової тканини (рис. 2.9), система прогнозування властивостей цих текстильних матеріалів в процесі їх виготовлення є єдиною, на вході якої є кручена пряжа, а на виході готова тканина. Поряд з цим в цій системі можна виділити дві підсистеми (блоки) і вирішувати задачі прогнозування властивостей та управління якістю в цих окремих підсистемах.

Розділ 3. РОЗРОБКА НАУКОВИХ ОСНОВ ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Структура та властивості текстильних матеріалів в процесі виробництва та експлуатації змінюються динамічно. Зміна властивостей текстильних матеріалів протікає в часі, а наявність впливових факторів завжди призводить до зміни вхідних властивостей волокнистого продукту. Ступінь впливу різних факторів на вихідні властивості текстильних матеріалів не однакова, тому для її визначення доцільно проводити експертне оцінювання.

Властивості волокнистого стрічкоподібного продукту визначаються волокнистим складом, структурою (розташуванням волокон, їх розпрямленістю та паралелізацією) та лінійною густиною. Особливості розташування, розпрямлення та орієнтації волокон в стрічці та рівниці в подальшому мають значний вплив на формування властивостей пряжі та тканин з них.

Визначення властивостей волокнистих продуктів (жмутків, стрічок, рівниці, пряжі, тканини), які динамічно змінюються в процесі виробництва та експлуатації зводиться до знаходження залежності похідної властивості від її вхідних параметрів та факторів впливу. Така залежність може бути визначена аналітичними (дослідженням математичної моделі продукту) або експериментальними (активними або пасивними) методами [22-24].

При аналітичних методах математичному опису системи можна отримати реакцію системи практично на любу взаємодію. При цьому отримана модель може стосуватися не тільки конкретного об’єкта дослідження, а також цілого класу об’єктів. Поряд з цим потрібно відмітити, що така математична модель враховує тільки ті умови і фактори, які були в неї включені при формалізації фізичної моделі досліджуваного процесу і не може враховувати умови і усі діючі фактори реально функціонуючої системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів. Аналітичні методи отримання моделі волокнистого

продукту мають переваги в можливості застосування для широкого кола волокнистих продуктів, але мають суттєвий недолік в застосування для конкретного волокнистого продукту і вимагають експериментального уточнення положень теоретичної моделі.

Цей недолік відсутній в експериментальних методах дослідження як конкретного об'єкту, так і системи в цілому. При використанні активних методів дослідження, динамічні характеристики текстильного матеріалу отримують шляхом визначення впливу штучно змінених вхідних факторів та його вихідні властивості. А при використанні пасивних методів - визначення динамічної зміни вихідних властивостей текстильного продукту проводиться шляхом результатів вимірювань вхідних та вихідних параметрів, які отримують при нормальному процесі виготовлення та експлуатації текстильного матеріалу. Пасивні методи краще застосовувати у випадках, коли неможливо внесення штучних змін вхідних параметрів при нормальних умовах виготовлення та експлуатації продукту, а також у випадках, коли рівень перешкод досить значний або коли досліджувані продукти мають декілька входів та виходів, що часто корелюють між собою.

Методологічно обидва методи подібні між собою і включають наступні етапи: вибір вихідних та змінних вхідних параметрів досліджуваного текстильного матеріалу (волокнистого продукту); вимірювання та реєстрація з потрібною точністю вибраних вихідних та змінних вхідних впливових факторів (параметрів); обробка результатів експерименту з метою отримання динамічних характеристик (властивостей) досліджуваних продуктів.

На практиці при вимірювані параметрів волокнистих продуктів виникають складності, які пов'язані з реєстрацією в часі чи за довжиною їх властивостей або параметрів їх виготовлення. В таких випадках доцільно використовувати непрямі: ємнісні, резонансні та інші методи вимірювання [27, 29] .

3.1. Аналіз волокнистого продукту, сформованого з орієнтованих волокон та їх груп

В текстильному виробництві перетворення волокнистого продукту в основному характеризуються процесами розпушування, тіпання, чесання, складання, витягування, змішування, скручування (для одиночної пряжі); складання та скручування (для крученої пряжі); тканням та переплетенням ниток основи та утоку (для тканини); петлеутворенням (для трикотажу) тощо.

Особливістю волокнистих продуктів є те, що структура їх дискретна. Кожний волокнистий продукт є сукупністю волокон різної довжини, лінійної густини та форми. Для характеристики певної ділянки волокнистого продукту (жмутка, прочосу, стрічки, рівниці, пряжі) можна надати характеристику усіх складаючи його волокон (форму, розташування, розпрямленість та орієнтацію). Такий опис був би найбільш точним, але з огляду на велику кількість волокон, велику громіздкість та деталізацію опису, є ускладнення із застосуванням такого опису на інші реалізації продукту. Тому опис волокнистого продукту краще робити усередненим, не дуже деталізованим і в деякій мірі ідеалізованим.

Моделі, які застосовуються для опису волокнистого продукту повинні забезпечувати достатнє співвідношення між повнотою опису і конкретністю його результатів з одного боку та зручністю користування з отриманими статистичними характеристиками продукту з другого.

Якщо на певному етапі виробничого перетворення волокнистого продукту волокна утворюють більш або менш стійкі групування, тоді доцільно розглядати в якості елементів волокнистого потоку ці угрупування в цілому, не поділяючи їх на складові. Визначення елементарної ділянки кожного конкретного волокнистого продукту є важливою задачею.

Як визначалося вище, характеристики елементів волокнистих продуктів визначаються шляхом аналізу виробничого процесу, експериментальним шляхом або шляхом застосування певних ймовірних гіпотез.

В цій роботі застосовуються експериментальні пасивні методи визначення динамічної зміни властивостей волокнистих продуктів із застосуванням чисельних методів визначення математичних моделей властивостей волокнистих продуктів на кожному етапі їх виробничого перетворення. Визначення динамічної зміни властивостей продукту проводилося шляхом вимірювання вхідних та вихідних параметрів, які отримувалися при нормальному процесі виготовлення волокнистого продукту [55-66].

Такий підхід дозволяє широко застосовувати засоби ЄОМ типу ПК із пакетами прикладних програм обробки даних, а також програмне забезпечення систем управління базами даних (СУБД) в системі прогнозування властивостей текстильних матеріалів [67-79].

В розглянутій нами системі прогнозування властивостей текстильних матеріалів, дослідження перетворення властивостей волокнистих продуктів проводилося шляхом аналізу відповідних виробничих процесів. Експериментальним шляхом були визначені наступні елементарні ділянки волокнистих продуктів: жмутки (для волокнистої маси до тіпання та після тіпання); волокна та їх групи (для стрічки, річниці та одиночної пряжі); переплетення та щільність ниток по основі та утоку одиночної та (або) крученої пряжі (для тканини).

3.1.1. Обґрунтування математичного методу побудови моделі властивостей текстильних матеріалів

Одним з основних математичних засобів побудови математичних моделей властивостей текстильних матеріалів на базі експериментальних результатів є регресійний аналіз, який передбачає отримання параметрів оцінок

моделі досліджуваної властивості з точністю до вектора невідомих параметрів. Вибір, в якості класу, допустимих рішень параметричного сімейства функцій $F=\{f(X,a)\}$ є важливою задачею, від якої залежить адекватність отриманих математичних моделей при використанні їх в прогнозуванні властивостей текстильних матеріалів. Найбільш широко в моделюванні властивостей текстильних матеріалів використовують клас лінійних функцій, що пояснюється їх відносною простотою, а також наявністю ефективних численних методів оцінки коефіцієнтів лінійних моделей [80-90]. Але лінійні моделі не завжди адекватно описують реальні процеси, тому потрібно проводити детальний аналіз результатів визначення похідних властивостей и визначитись з можливістю побудови лінійних математичних моделей вихідних властивостей текстильних матеріалів [91-101].

Аналіз статистичних даних властивостей текстильних матеріалів на різних етапах виробництва та експлуатації дозволяє визначити певні їх особливості. Так встановлено, що вхідні параметри текстильних матеріалів на кожному етапі зміни властивостей, в процесі виробництва, змінюються в досить вузьких межах, і як наслідок мають досить вузькі границі змін властивостей по закінченню кожного етапу. Це пояснюється тим, що в текстильному виробництві виготовляється визначений асортимент готової продукції, який потребує регламентованих властивостей сировини для використання її у виробництві.

На властивості текстильних матеріалів впливає багато неконтрольованих факторів, які вносять певний „шум” та часовий дрейф в залежності від характеристик сировини та умов виробництва та експлуатації. Також на точність вимірювань властивостей текстильних матеріалів впливають методи та прилади, що застосовуються. В умовах текстильних виробництв лабораторний контроль має вибірковий характер і тому має певну обмеженість кількості узгоджених даних.

При математичному моделюванні досліджуваних об’єктів текстильного виробництва досить широко застосовуються методи активного експерименту [22, 97-99]. В свою чергу постановка та проведення активного експерименту пов’язане з досить значними складностями: трудомісткість складних процесів, що призводить до необхідності побудови значної кількості математичних моделей; неперервність окремих технологічних процесів; складність устаткування та значна собівартість сировини.

В системі прогнозування властивостей продуктів текстильного виробництва та управління їх якістю потрібно враховувати зміни, які виникають в умовах процесу реального виробничого та експлуатації, і забезпечити адаптацію математичних моделей до цих змін. Використання ж методів активного експерименту доцільно застосовувати для одноразової побудови математичної моделі і значно ускладнюються в умовах, що потребують адаптації. Також планування експерименту доцільно застосовувати для нових процесів.

Побудова математичних моделей з використанням результатів „пасивних” спостережень більш доцільна для діючих підприємств ніж проведення „активних” експериментів. Це пов’язано з відсутністю в пасивному експерименті потреби планування та врахування можливих порушень виробничого процесу.

Виходячи з вищезазначеного, умовами математичного моделювання властивостей текстильного виробництва є: нелінійність виробничих процесів в зальному випадку; „зашумленість” обмеженого об’єму результатів спостережень; відсутність апріорної інформації про структуру математичної моделі; потреба побудови великої кількості математичних моделей.

Основою інформаційної бази математичного моделювання властивостей продуктів прядильного виробництва є результати „пасивних” спостережень параметрів продуктів в процесі нормального функціонування виробничого

процесу. Для цього створені програмні засоби супроводу інформаційної бази даних. Для рішення задач системного підходу до прогнозування властивостей продуктів прядильного виробництва в процесі їх виготовлення пропонуються програмні засоби побудови математичних моделей властивостей та оцінки значень їх параметрів, які мають властивість адаптації в умовах зміни реального виробничого процесу [101-111].

Для побудови адекватних математичних моделей процесу перетворення властивостей текстильних матеріалів використовується регресійний аналіз, а для оцінки параметрів отриманої моделі - метод найменших квадратів. Модель процесу перетворення властивостей текстильних матеріалів (як сума моделей етапів) дає можливість на основі вхідних параметрів сировини отримати оцінки параметрів кінцевої продукції [84-88, 90, 94, 97-99].

Наведемо алгоритм побудови математичної моделі перетворення властивостей текстильних матеріалів (рис.3.1). Інформаційна технологія побудови математичних моделей змін властивостей текстильних матеріалів полягає в наступному: формуванні електронних таблиць початкових даних спостережень, отриманих в результаті проведення пасивних експериментів на кожному етапі зміни властивостей; визначення статистичних показників параметрів (властивостей) наведених в електронних таблицях даних; формування узагальнених електронних таблиць статистичних показників параметрів; формування зведеної бази даних параметрів процесу змін властивостей текстильних матеріалів; побудова математичних моделей кожного для етапу перетворення властивостей.

Розглянемо постановку задачі лінійного регресійного аналізу та метод найменших квадратів і умови, в яких ці моделі адекватні досліджуваним текстильним матеріалам.

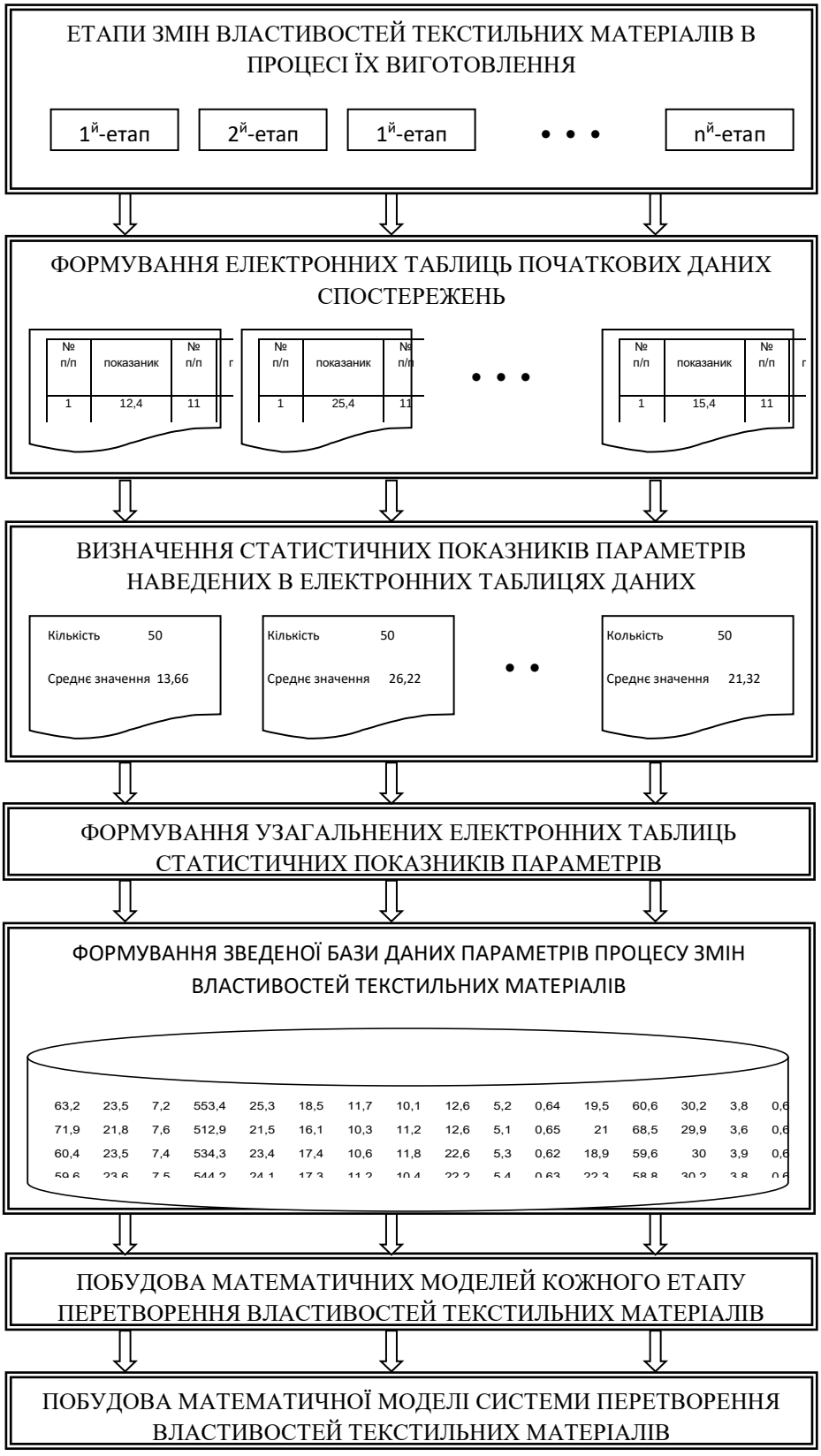


Рис.3.1. Алгоритм побудови математичної моделі процесу системи перетворення властивостей текстильних матеріалів

Припустимо, що певна властивість текстильного матеріалу описується наступними детермінованими незалежними змінними x_i (i = 1, …. n) (характеристики «входу») і залежною випадковою змінною y_j (j = 1 , … m) (характеристики «виходу»). Нехай для знаходження значень змінної y виконується n спостережень ($n \geq m$). Позначимо x_{ij} значення змінної x_j в i-му спостереженні, а y_j – відповідне значення y.

Припустимо також, що кожна величина y є лінійною комбінацією констант і змінних x_1 ,…, x_m і спостерігається з точністю до випадкової складової ε_i (лінійна модель регресії). Позначимо коефіцієнти вказаної комбінації a_0, a_1,…,a_m, маємо

$$y = \alpha_0 + \sum_{j=1}^{m} \alpha_j x_j + \varepsilon_i,\ i = 1,\ldots, n. \tag{3.1}$$

В регресійному аналізі однією з основних задач є знаходження оцінок a_j коефіцієнтів α_j за результатами спостережень вихідної змінної y при заданих значеннях x_{ij} змінних x_j.

$$y_i = \alpha_0 + \sum_{j=1}^{m} \alpha_j x_{i\,j} + \varepsilon_i,\ i = 1,\ldots, n.$$

Звідси, вводячи позначення

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \ldots \\ y_n \end{pmatrix},\ X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \ldots & x_{1m} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \ldots & x_{2m} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \ldots & x_{nm} \end{pmatrix},\ \alpha = \begin{pmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \ldots \\ \alpha_m \end{pmatrix},\ \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \ldots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}, \tag{3.2}$$

можемо подати вказані залежності у векторно-матричному вигляді:

$$Y = X\alpha + \varepsilon. \tag{3.3}$$

Якщо матриця експерименту X є невиродженою, тобто її стовпці є лінійно незалежними, то оцінка

$$a = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{pmatrix}$$

вектора коефіцієнтів α за методом найменших квадратів (МНК) має вигляд (див, наприклад, [84-86]):

$$a = (X' X)^{-1} X' Y, \qquad (3.4)$$

де « '» і «$^{-1}$» — символи транспонування та обертання матриць відповідно.

За прийняттям деяких припущень ймовірнісного характеру з'являється можливість дати відповідь на питання щодо якості обраної моделі і можливості її використання. Поширеними припущеннями вказаного типу є наступні:

1) похибки визначення незалежних змінних x_j відсутні або принаймні є несуттєвими;

2) середнє значення випадкової складової ε дорівнює 0, тобто $M\varepsilon = M\varepsilon_i = 0$ (M — символ математичного сподівання);

3) значення ε_i є попарно некорельованими і мають однакову скінченну дисперсію $D\varepsilon_i$ (тобто $M\,\varepsilon_i\varepsilon_j = 0$ при $i \neq j$, $D\varepsilon_i = \sigma^2 = const$; $i, j = 1,..,n$).

4) матриця X має повний ранг (невиродженість матриці експерименту);

5) випадкова складова ε має нормальний розподіл імовірностей.

За виконанням вимог 1) — 4) МНК- оцінка вектора α є незміщеною:

$$M\,a = \alpha.$$

За виконанням вимог 1) — 5) зазначена оцінка є ефективною в класі всіх лінійних за Y незміщених оцінок вектора α, зокрема для довільної такої оцінки $a^* = (a^*_1,\dots, a^*_m)$ мають місце нерівності $Da_j \leq Da^*_j$, $j = 1,\dots,n$ [84-86]. За певних додаткових умов МНК-оцінки $a = a_n$ є обґрунтованими оцінками параметра α, тобто такими, що збігаються до α за ймовірністю:

$$\forall\ \delta > 0 \quad P(\|a_n - \alpha\| > \delta) \to 0 \text{ при } n \to \infty,$$

де P є символом імовірності, $\| a_n - \alpha \|$ — відстань між оцінкою a_n і вектором коефіцієнтів α в просторі R^m.

Відзначимо, що припущення 5) не відіграє ніякої ролі при знаходженні МНК- оцінки вектора α, але за його прийняттям з'являються додаткові приводи для використання МНК. Зокрема з'являється можливість знаходження довірчих інтервалів для невідомих параметрів, можливість перевірки гіпотез про адекватність обраної моделі та конкретні значення вказаних параметрів тощо.

В більшості, різні статистичні показники властивостей текстильних матеріалів, які пов'язані з оцінкою коефіцієнтів рівняння (3.4), залежать від кореляційної матриці $A = (X'X)$. В свою чергу зазначена кореляційна матриця пов'язана з матрицею експерименту (початкових даних) X .

В реальних умовах „жорсткі" припущення лінійного регресійного аналізу, в більшості, не виконуються. Це призводить до зниження точності та ефективності оцінок отриманих методом найменших квадратів. В таких умовах досить часто зустрічається явище мультиколінеарності в матриці спостережень, а також для даних отриманих в умовах прядильного виробництва характерно відхилення від нормального закону розподілення регресійної похибки [88-90].

Для побудови адекватних математичних моделей процесів та властивостей продуктів прядильного виробництва використовуються статистичні методи, які усувають недоліки характерні для традиційного методу найменших квадратів.

Інколи, в випадку мультиколінеарності факторів використовують змішані методи оцінки параметрів лінійної регресійної моделі. При відхиленнях закону розподілення випадкової похибки від нормального використовують стійкі методи оцінювання. Але поряд з цим математичні моделі отримані вищезазначеними методами мають ряд недоліків: відсутня апріорна інформація про лінійність реальних властивостей та процесів прядильного виробництва; перед побудовою моделі потрібно проводити значний статистичний аналіз

початкових даних; відкритим залишається питання адаптації отриманих моделей [87-90].

В умовах реального прядильного регулярно постійно проводять вибірковий контроль за багатьма параметрами властивостей продуктів прядильного виробництва (сировини, напівфабрикатів, пряжі) та технічних контроль устаткування та параметрів навколишнього середовища. Також проводиться порівняльний аналіз відповідності отриманих даних їх нормативним значенням представлених в певних нормативних документах (ТУ, ДСТУ, ГОСТ тощо). На підприємствах накопичується значна база даних, які відображають технологічний процес прядильного виробництва.

Аналіз статистичних даних за властивостями продуктів прядильного виробництва дозволяє визначити певні їх особливості. Так визначено, що вхідні параметри змінюються в досить вузьких межах, і в наслідок цього мають досить вузькі границі. Це пояснюється тим, що в прядильному виробництві виробляється визначений асортимент готової продукції, який потребує постійності властивостей сировини, яку споживає виробництво [103-111].

На властивості продуктів прядильного виробництва впливають багато неконтрольованих факторів, які вносять певний „шум” та часовий дрейф в залежності між характеристиками.

Також на характер вимірювань властивостей продуктів прядильного виробництва впливають методи та прилади їх визначення [29,50,54,61,74-76]. Так в умовах прядильних виробництв лабораторний контроль має вибірковий характер і тому певну обмеженість кількості узгоджених даних.

На прядильних виробництвах устаткування в більшості не оснащене вимірювальними засобами, тому значення параметрів процесу та властивостей продуктів прядильного виробництва записуються ручним способом в документах різних підрозділів прядильного виробництва. Похибки вимірювань властивостей продуктів прядильного виробництва та факторів, які на них

впливають збільшують невизначеність математичної моделі, що еквівалентно доданню зовнішнього „шуму”.

При математичному опису досліджуваних об’єктів прядильного виробництва досить широко застосовуються методи активного експерименту, до яких входить метод еволюційного планування [43-48]. В свою чергу постановка та проведення активного експерименту пов’язане з досить значними складностями: трудомісткість складних процесів, що призводить до побудова значної кількості математичних моделей; неперервність окремих технологічних процесів; складність устаткування та значна собівартість сировини.

В системі прогнозування властивостей продуктів прядильного виробництва та управління їх якістю потрібно врахування змін, які виникають в умовах реального технологічного процесу, і забезпечити адаптацію математичних моделей до цих змін. Використання ж методів активного експерименту припустимо для одноразової побудови математичної моделі і не припускається для потреб адаптації. Також планування експерименту доцільно застосовувати для нових процесів та точних виробництв.

Побудова математичних моделей з використанням результатів „пасивних” спостережень більш доцільна ніж проведення „активних” експериментів. Це пов’язано з відсутністю в пасивному експерименті потребою планування та порушення визначеного технологічного процесу.

Виходячи з вищезазначеного, умовами математичного моделювання властивостей продуктів прядильного виробництва є: нелінійність технологічних процесів в зальному випадку; „зашумленість” обмеженого об’єму результатів спостережень; відсутність апріорної інформації про структуру математичної моделі; потреба побудови великої кількості математичних моделей. Таким чином перед нами є об’єкт дослідження, який погано піддається формалізації. Тому для вирішення комплексу проблем моделювання потрібно застосовувати

усесторонній аналіз експериментальних даних, інакше кажучи – методи ідентифікації [115-124].

Основою інформаційної бази математичного моделювання властивостей продуктів прядильного виробництва є результати „пасивного” спостереження параметрів продуктів в процесі нормального функціювання виробничого процесу. При цьому необхідно мати програмні засоби підтримки ведення інформаційної бази.

Вирішення задач системного підходу до прогнозування властивостей текстильних матеріалів в процесі їх виготовлення потрібно мати програмні засоби побудови математичних моделей властивостей, які мають властивість до адаптації в умовах зміни виробничого процесу. Функціювання всієї системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів та управління ними в процесі виробництва повинно забезпечуватися програмними засобами, які враховують конкретні особливості умов текстильного виробництва.

В роботі застосовуються методи ідентифікації системи прогнозування властивостей продуктів прядильного виробництва та розроблюється математичне, алгоритмічне, інформаційне та програмне забезпечення задач моделювання.

3.2. Аналіз методів ідентифікації систем

Виходячи з необхідності математичного опису зміни властивостей волокнистих продуктів в процесі їх виробництва для вирішення задач системного аналізу та управління якістю продукції, а також виходячи із складності опису вищезазначеного процесу доцільно використання методів ідентифікації великих виробничих систем.

Методи ідентифікації, які застосовуються на практиці є різноманітні [115-124]. Поряд з цим це різноманіття методів можна визначити в наступній загальній схемі: виходячи з різної апріорної інформації про об’єкт дослідження вибирається структура моделі (майбутня математична модель), яка задається до

деякого числа невідомих параметрів. В подальшому ці параметри за допомогою відповідних методів математичної статистики оцінюють за відомими спостереженнями визначеного об'єкту.

Математичні моделі об'єктів, які уточнюються з мірою накопичення даних про об'єкт є адаптивними. Адаптивні моделі дають можливість автоматизувати складний процес вирішення задач ідентифікації та забезпечити оперативне уточнення характеристик досліджуваного об'єкту в процесі його функціювання. Також адаптивні математичні моделі дають можливість перейти до утворення серійних, типових систем управління об'єктами різної фізичної природи [125-129].

При побудові математичних моделей об'єктів в системі прогнозування зміни властивостей продукції в процесі її виготовлення, характеристики визначеного об'єкта дослідження змінюються в часі має місце недостатність апріорної інформація про такі зміни. При цьому неможливо обмежитись одноразовою математичною моделлю визначеного об'єкту і тому така модель в процесі функціонування системи уточнюється [130-134]. Такий підхід буде ефективним в системі прогнозування властивостей пряжі та тканини в процесі їх виготовлення.

Процес зміни властивостей текстильних матеріалів є складною системою. Він є багатоперехідним і складається з декількох переходів, які розглядаються як окремі процеси перетворення властивостей волокнистого продукту (підсистеми), кожний з яких є закінченим етапом отримання певних волокнистих продуктів, які мають свої специфічні структуру та властивості. Весь комплекс перетворення властивостей волокнистих продуктів в виробничих операціях текстильного виробництва є дискретно-неперервним і здійснюється на різноманітному устаткуванні.

При аналізі системи прогнозування властивостей в процесі функціювання реального виробничого процесу та для побудови їх математичних моделей за

експериментальними даними „вхід-вихід” застосовуються методи ідентифікації [115-124].

Важливою особливістю математичних моделей властивостей продуктів прядильного виробництва є не тільки їх адекватність реальним параметрам, а також властивість до їх адаптації в змінних умовах виробництва. Так як досліджуваний об’єкт характеризується значною складністю та недостатньою інформативністю зв’язків між параметрами, що обмежує можливість проведення з ним експериментів, зростає значення неформальних (експертних) методів отримання інформації про об’єкт, а також адаптивних принципів побудови математичної моделі [126-129].

З мірою розвитку комп’ютерної техніки та розширенні її застосуванні в обробці статистичної багатомірної інформації до математичних методів побудови моделей реальних об’єктів ставляться наступні узагальнені вимоги: універсальність; здатність до інтерпретації та адаптації.

Різні проблеми ідентифікації статистичних та динамічних систем можуть бути формалізовані як задачі відновлення функцій багатьох змінних, заданої своїми експериментальними значеннями. Так на вході об’єкту фіксуються значення факторів $X = (\hat{X}_1 X_2, ... X_n) : \{X^j\}_{j=1}^m$, які в загальному з’являються у відповідності з невідомою функцією розподілення вірогідностей *P(X)*. Також на виході досліджуваного об’єкту фіксуються відповідні значення показника $Y : \{Y^j\}_{j=1}^m$ і припускається, що існує відображення *Y: X→y* , де *F(X)* заздалегідь відома.

За відомими спостереженнями $\{(X^j), y^j)\}_{j=1}^m$ потрібно побудувати таку апроксимацію $\overset{1}{F}(X)$ функції *y=F(X)* для того, щоб заданий критерій якості апроксимації *J(y,* $\overset{1}{F}$ *(X))* мав екстремальне значення.

За критерій апроксимації можна взяти функціонал наступного виду:

$$J(y,\ \overset{1}{F}(X)) = \int_{Rn} \varphi(y - F(X))P(x)dx \qquad (3.6)$$

де R^n – простір факторів; φ(-) – задана функція втрат; $P(X)$ – багатомірна площина розподілення ймовірностей.

Для вирішення вищезазначеної задачі застосовуються наступні методи: найменших квадратів, максимальної правдоподібності та процедура стохастичної апроксимації [130-138]. Критерієм якості апроксимації вибираємо величину залишкової дисперсії вихідної змінної відносно апроксимуючої функції:

$$\int_{Rn} (y - F(X))^2 P(x)dx \qquad (3.7)$$

Також при невідомій функції $P(X)$ мінімізуємо наступний функціонал:

$$J(y,\ \overset{1}{F}(X)) = \sum_{j=1}^{m} \varphi(y^j - \overset{)}{F}(X^j)) \qquad (3.8)$$

В теорії ідентифікації розрізняють параметричні та непараметричні рішення вищезазначеної задачі.

Застосовуючи параметричні методи ідентифікації виходять з припущення про наявність моделі відновлювальної залежності, що має задану точність до певних параметрів. Непараметричні методи таку модель не використовують і тому в цьому вони протилежні параметричним методам. Непараметричні методи реалізують певне згладжування даних, при цьому сама функція-оцінка є непараметризуєма, так як не може бути задана в формі розкладу за певною схемою координатних функцій.

В більшості випадків для вирішення вищезазначеної задачі використовуються параметричні методи ідентифікації, в яких вигляд апроксимуючої функції $\overset{1}{F}(X, a)$ задається з точністю до вектора невідомих параметрів $\{a\}$, і вирішення задачі ідентифікації зводиться до визначення за

експериментальними даними $\{(X^j), y^j)\}_{j=1}^m$ оцінки вектора невідомих параметрів $\{\hat{a}\}$, яка забезпечує мінімальне значення функціонала (3.8).

Більш широке застосування параметричних методів пояснюється їх відносною спрощеністю їх реалізації і з хронологічною послідовністю розробки досліджуваних методів. В залежності від особливостей апріорної інформації про досліджуваний об'єкт розрізняють ідентифікацію в широкому та вузькому розумінні.

В вузькому розумінні задача параметричної ідентифікації полягає в оцінюванні невідомих параметрів об'єкта за даними спостережень, які отримані при нормальній роботі об'єкта. В цьому випадку припускається, що відома структура системи та заданий клас моделей, до якого відноситься досліджуваний об'єкт. Це можливо у випадку, коли апріорна інформація про досліджуваний об'єкт достатньо велика.

В широкому розумінні задача параметричної ідентифікації застосовується у випадку відсутності або дуже малої інформації про досліджуваний об'єкт. Це в більшості характерно для складного об'єкта, яким є система прогнозування властивостей продуктів прядильного виробництва. Поряд з цим потрібно вирішувати значну кількість додаткових задач: оцінювання ступеня стаціонарності та лінійності об'єкта; визначення ступеня та форми впливу вхідних змінних на вихідні; визначення інформативної факторів $X = (\hat{X}_1 X_2, ... X_n)$, які описують досліджуваний об'єкт; вибір структури математичної моделі об'єкту в розумінні задачі параметричного класу функцій $\{F(X, a)\}$ з точністю до вектора невідомих параметрів $a=\{a_1, a_2 .... a_n\}$, в рамках якого буде проводитися пошук найкращої апроксимації $y = \hat{F}(X)$ функції $F(X)$; оцінка вектора невідомих параметрів a за допомогою відповідних методів багатомірного статистичного аналізу на основі відомих спостережень за роботою об'єкта; перевірка адекватності отриманої залежності $y = \hat{F}(X)$;

можливість адаптації математичної моделі об’єкта до виробничих умов, які змінюються в часі.

Вибір інформативної системи факторів є досить складною задачею, яка вирішується на етапі попередньої обробки інформації за допомогою методів математичної статистики та експертного аналізу. При виборі інформаційної системи факторів потрібно: усунути мультиколінеарність факторів; враховувати максимально можливу кількість факторів в моделі для конкретних умов; враховувати обмеження та вимоги, які залежать від застосовуваної обчислювальної техніки та алгоритмів обробки інформації.

Існують різні методи вирішення вищезазначеної задачі: кореляційний аналіз; факторний аналіз; метод головних компонент; метод класифікації та кластерного аналізу. При ідентифікації складного об’єкту, найбільш важливим моментом є вибір структури математичної моделі. Правильний вибір структури моделі є вирішальною умовою, яка гарантує успіх у вирішенні прикладних задач. Безумовно, при цьому, потрібно розуміти саму процедуру ідентифікації, як у змістовій так і у формалізованій інформації про досліджуваний об’єкт [130, 139-147].

Визначення правильної структури математичної моделі забезпечує можливість кількісної оцінки впливу кожного із значимих вхідних факторів (X) на вихідний параметр (Y). Структура моделі загального виду $Y(X)$ визначається на основі апріорної інформації про досліджуваний об’єкт та визначених цілях дослідження. В дослідженнях реальних об’єктів (систем прогнозування властивостей) досить мало апріорної інформації про вид функції $Y(X)$, або вона відсутня. Тому вибір структури моделі та метод її побудови в основному базується на евристичних міркуваннях, які мають на увазі простоту побудови та зручність роботи з визначеною моделлю.

Багатофакторні параметричні математичні моделі можна розділити на лінійні та нелінійні.

Так лінійну модель в загальному вигляді можна представити в наступному вигляді:

$$\hat{F}(X,\alpha) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \hat{X}_i \qquad (3.9)$$

Основним методом побудови лінійних математичних моделей на базі експериментальних даних є множинний регресійний аналіз, який опирається на метод найменших квадратів. При цьому оцінки вектора параметрів знаходяться з умови мінімуму величини залишкової дисперсії:

$$\delta_{çàë} = \sum_{i=1}^{n} \left[\hat{o}^3 - \hat{F}(X^i,\alpha)\right]^2 \qquad (3.10)$$

Метод найменших квадратів, при виконанні ряду передумов, дозволяє будувати змістовні, незміщені, ефективні оцінки при виконанні ряду умов. В практичному користуванні передумови метода найменших квадратів в більшості порушуються, тому пропонується використовувати модифіковані методи.

При корельованості вхідних змінних використовуються методи з класу зміщених методів оцінювання. У випадку відхилення закону розподілення похибки від нормального, застосовуються стійкі методи оцінювання. Як було вище викладено, використання того, чи іншого метода визначається шляхом аналізу експериментальних статистичних даних на етапі попередньої обробки інформації.

Поряд з зазначеним, найбільше реальних об’єктів в системі прогнозування властивостей продуктів прядильного виробництва є нелінійними і характеризуються взаємодією значної кількості факторів. В умовах невизначеності з апріорною інформацією про вид шуканої залежності та законів розподілення вхідних та вихідних змінних, в більшості, застосовується нелінійні регресійні моделі. На основі співставлення дисперсійної та

кореляційної функцій будується оцінка ступеня нелінійності досліджуваного об’єкту.

Для оцінювання ступеня лінійності досліджуваної залежності застосовується множинний коефіцієнт кореляції:

$$R_{y/x_1\ldots x_n} = \sqrt{1-|R|/R_x} = \sqrt{S^2_{y/x_1\ldots x_n}/S^2_y} \qquad (3.11)$$

де $S^2_{y/x_1\ldots x_n}$ - сума квадратів відхилень, визначена даним рівнянням регресії; S^2_y - загальна сума квадратів відхилень від середнього для y; $|R|$ - визначальний матриці парних коефіцієнтів кореляції всіх змінних, включаючи y; $|R_{\delta}|$ - визначальний матриці парних коефіцієнтів ознак-аргументів.

Кількісною мірою відмінності виду досліджуваної залежності від лінійної пропонується [126] використовувати наступне дисперсійне відношення:

$$\eta^2_{y/x_1\ldots x_n} = (DM(Y/X))/DY \qquad (3.12)$$

при цьому: $DM\left(Y/X\right) = M\left[M\left(Y/X\right) - M(Y)\right]^2 = \int\limits_{-\infty}^{\infty}\left[\int\limits_{-\infty}^{\infty} y\varphi(y/x)dy - m_y\right]^2 \varphi(x)dx$

де M, D - символи математичного сподівання і дисперсії відповідно, $M(Y/X)$ - умовне математичне сподівання величини Y при даному X, $\varphi(x)$ - щільність розподілу випадкового вектора X, $\varphi(y/x)$ - умовна щільність розподілу величини Y при $X = x$, $m_y = M\,Y$.

Але у вище визначених рівняннях не вирішується основна проблема - параметризації шуканої залежності, так як не існує канонічного подання нелінійних моделей (які є досить різноманітні).

Також з умови побудови математичних моделей можна виділити клас моделей, які є лінійними за параметрами:

$$\hat{F}(X,\alpha) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{n}\alpha_i\varphi_i\hat{X}_i \qquad (3.13)$$

де $\varphi_i(X)$ - деяка задана система функцій вектора X.

Методи побудови статистичних математичних моделей виду (3.13) дуже схожі з методами, які часто застосовуються для лінійних моделей виду (3.9). Звідси можна представити модель (3.13) у вигляді (3.9) за допомогою введення нових змінних $Z=(Z_1,\ldots, Z_n)/Z_i = \varphi_i(X)$. В цьому випадку основною задачею є вибір правильної системи функцій $\varphi_i(X)$.

Якщо невідома функція Y(X) припускається у вигляді гладкої, тоді в якості її апроксимації можуть бути вибрані відрізки різної довжини ступеневого ряду Тейлора, який отримують при розкладанні гладкої неперервної функції:

$$y = \alpha_n X_n + \alpha_{nm} X_n X_m + \alpha_{nn} X_n^2 + \ldots \qquad (3.14)$$

де коефіцієнти при змінних є частковими похідними функції $\alpha_n = \partial y / \partial x_n$, $\alpha_{nї} = \partial^2 y / (\partial x_n \partial õ_m)$, … .

Але поряд з перевагами інколи досить важко завчасно підібрати вид та ступінь полінома, за допомогою якого було б можливо досить точно побудувати таку апроксимацію. Підвищення складності структури моделі може призвести до підвищення вірогідності точності апроксимації. Відомо [130-140], що залежність точності апроксимуючої функції від складності структури математичної моделі має екстремальний характер. Так при інших рівних умовах з мірою збільшення складності структури моделі точність спочатку збільшується, але в подальшому зменшується. В умовах невизначеності в законі функціювання досліджуваного об’єкту при такому підході вибір моделі може проводитись практично довільно. Не проводиться аналіз структури вхідних даних, які фактично визначають реальні закономірності. Виходячи з вищенаведеного на практиці не завжди можна визначити аналітичний вид регресійної залежності.

Таким чином, використання жорстких фіксованих конструкцій математичних моделей є суттєвою причиною порушення адекватності вибраних

моделей реальним властивостям продуктів прядильного виробництва та опису сукупності початкових результатів.

Відомо, що статистичні закономірності носять усереднений характер, а багатофакторні регресійні моделі в більшості дають добру апроксимацію для об'єктів, які близькі до середніх. Відповідно до цього, регресійна математична модель придатна для аналізу та прогнозування властивостей індивідуального об'єкту тільки в однорідних сукупностях. В відносній однорідності, отримані статистичні закономірності відповідні кожній одиниці досліджуваної сукупності. У більш простих випадках неоднорідності похідних даних адекватна математична модель будується за допомогою підбирання форми нелінійної залежності. В цілому такий підхід не вирішує наступні проблеми: немає чіткого пошуку форми зв'язку для багатофакторних моделей; при збільшенні числа параметрів знижується точність оцінок та ускладнюється інтерпретація моделі; в умовах неоднорідності початкових даних більшість статистичних критеріїв не працює.

Для усунення вищезазначених проблем потрібно застосовувати непараметричні оцінки, які не потребують попереднього вибору параметричного сімейства функцій F, в межах якої проводиться пошук певної форми досліджуваної залежності. До непараметричних оцінок відносять: оцінки регресії Надарая-Ватсона та парзеновські оцінки щільності ймовірності. Також до цього класу математичних моделей можна віднести й моделі теорії сплайн-функцій (кусково-лінійних функцій, неперервних в вузлах „зшивання") [128-138].

Використання сплайн-функцій доцільне в наступних ситуаціях: дослідження одномірного випадку; досліджувана залежність не має стрибків та розривів. Визначення сплайн-функцій значно ускладнюється із збільшенням розмірності поставленої задачі. Непараметричні методи дозволяють отримати в більшості теоретичні оцінки статистичних даних.

Однак непараметричні методи оцінки вхідних статистичних даних досліджуваного об’єкту, при відсутності розроблених численних методів побудови таких оцінок, не знайшли широкого застосування при вирішенні практичних задач. Також відмічають значну складність застосування таких оцінок в порівнянні з параметричними. Для непараметричних оцінок немає достатніх статистик і не проводиться стиснення інформації, що характерно для параметричних методів оцінки. В параметричних методах оцінки параметрів еквівалентні всій сукупності статистичних даних. Також при застосуванні непараметричних методів оцінки численна побудова точкової оцінки в багатьох випадках є досить складною. Для непараметричних оцінок характерно недостатньо ефективне використання гладкості регресійної моделі та особливостей геометричного розташування вибіркових значень факторів. Також [99,148] визначаються основні шляхи подолання вищенаведених недоліків: локальне використання звичайної параметричної регресії для оцінок коефіцієнтів при перших членах розкладання регресійної поверхні в ряд Тейлора в межах досліджуваної точки (локальна апроксимація); розбиття області можливих значень факторів на декілька областей, де статистичні дані є однорідними, а також побудова в кожній з цих областей свого аналітичного опису регресійної залежності (кусочна апроксимація).

Використовуючи вищенаведене, важливим моментом в дослідженнях є використання методів аналізу статистичних даних, які суттєво використовують ймовірнісно-статистичний підхід, а також значно розширюють уяву про закономірності, які містяться в цих експериментальних даних.

Таким чином, значну увагу при аналізі статистичних даних можна приділити методам кускової апроксимації. Ці методи використовують для нелінійних об’єктів з суттєвою багатомірністю простору факторів R^n та відсутністю апріорної інформації про вид досліджуваної залежності. Характеристики реальних досліджуваних об’єктів, які описуються складними

функціями за всією допустимою областю зміни факторів добре апроксимуються досить простими функціями (сходинковою або кусково-лінійною) в межах окремих областей простору факторів R^n [134-138].

Сутність методів кускової апроксимації полягає в тому, що у всьому просторі факторів R^n характеристика об'єкта апроксимується сукупністю досить простих функцій (лінійною, функцій-констант), кожна з яких будується в певній області факторного простору. Отже, факторний простір R^n розбивається, певним чином, на визначене число областей Q_i, $i=1,...,n$ (кластерів), і в кожному кластері Q_i шукана залежність апроксимується функцією досить простого виду.

Таким чином сукупність початкових статистичних даних розбивається на кластери, які в своїх межах мають відносну однорідність. Взаємозв'язок факторів та показників в цих кластерах стабільний і може бути описаний досить простими апроксимуючими функціями. При цьому загальна нелінійна залежність добре апроксимується кусково-лінійним наближенням. Виходячи з вищезазначеного, кусково-лінійні математичні моделі дозволяють з високим ступенем адекватності апроксимувати нелінійні залежності та ефективно аналізувати неоднорідні сукупності статистичних даних.

Розробка методів кусково-лінійного аналізу базується на теоретичних результатах, які отримані в класичному багатомірному статистичному аналізі. Розглянемо загальну постановку задачі кускової апроксимації [112]. Апроксимуюча функція $F(X)$ для задачі відновлення функції $y= F(X)$ з критерієм якості апроксимації (6.7) знаходять в наступному в вигляді:

$$F(X) = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i(X) F_i(X,\alpha_i) \qquad (3.15)$$

де $F_з(X,\alpha_з)$, $i = 1, ..., n$ – задані функції, які визначені з точністю до вектора параметрів α_i, $i = 1, ..., n$.

$$\varepsilon_i(X) = \begin{cases} 1, X \in Q_i \\ 0, X \notin Q_i \end{cases}, \; i = 1, \ldots, n \qquad (3.16)$$

де Q_i – деяка розбивка простору факторів R^n на непересічні області ($R^n = \bigcup_{i=1}^{n} Q_i$, $Q_i \cap Q_j \neq i$); n – фіксоване число; $\varepsilon_з(X)$ - є характеристичною функцією області Q_i.

Зробивши перетворення, отримуємо критерій якості апроксимації у наступному вигляді:

$$J = \int_{R^n} \left[y - \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i(X) \overset{)}{F_i}(X, \alpha_i) \right]^2 p(X) dX = \sum_{i=1}^{n} \int_{Q_i} \left[y - \overset{)}{F}(X, \alpha_i) \right] p(X) dX \qquad (3.17)$$

Можливо виділити три типи задач з методів кускової апроксимації, яким відповідають різні методи вирішення [134-140].

Для першого типу задач характерна побудова функції $\overset{1}{F}(X)$, яка мінімізує функціонал (3.9), що полягає у визначенні кластерів (областей) Q_i, $i=1,\ldots,n$ та векторів α_i , $i = 1, \ldots, n$, які змогли б забезпечити мінімальне значення функціоналу (3.17). Ця задача вирішується алгоритмами, які одночасно проводять розбиття простору факторів R^n на кластери та визначають апроксимуючі функції в цих кластерах. Вона також може бути вирішена варіаційними методами. Вихідна багатомірна задача зводиться до системи лінійних та нелінійних рівнянь, яка отримується з умови мінімуму функціонала. При цьому також приводяться необхідні та достатні умови оптимальності шматкових моделей. Недоліком в цьому підході є те, що спеціальних численних методів сумісного вирішення лінійних та нелінійних рівнянь ще не розроблено. Також є підхід до вирішення поставленої задачі де пропонується алгоритм вирішення системи рівнянь на основі процедури стохастичної апроксимації [141, 149, 150]. Для вирішення вищезазначеної задачі наводиться пошуково-оптимізаційний алгоритм фіксованих елементів розбиття факторного простору.

Всі вищезазначені алгоритми дають хороші теоретичні результати, але на практиці їх реалізація пов’язана із значними розрахунковими складностями.

Другий тип задач більш зручний для вирішення прикладного застосування. В ньому можна виділити два етапи. На першому етапі проводиться розбиття факторного простору на кластери Q_i, $i=1,...,n$. На другому – проводиться шматкова апроксимація шуканої функціональної залежності $y= F(X)$ в межах кожного з виділених кластерів. Таке розбиття поставленої задачі побудови математичної моделі на етапи пов’язано з тим, що аналіз структури факторного простору R^n є досить самостійним. Для розбиття факторного простору R^n на кластери використовують методи розпізнавання образів та кластерного аналізу [151]. Ці методи досить ефективні у вирішенні прикладних задач в яких у факторному просторі R^n характерна наявність компактних та ізольованих груп спостережень.

Для розв’язання задач другого типу також пропонується використовувати процедуру стохастичної апроксимації для мінімізації функціоналу (3.17) при фіксованому розбитті факторного простору. Крім цього пропонується при ідентифікації використовувати методи сходинкової апроксимації при рівномірній сітці розбиття факторного простору. Проведено порівняльний аналіз цього методу з методом найменших квадратів і показана доцільність застосування методу сходинкової апроксимації при ідентифікації дуже „зашумлених” об’єктів при малій кількості спостережень. Крім вищезазначених методів для вирішення задач другого типу пропонується застосовувати також метод декомпозиції.

В третьому типі задач пропонується побудова кусочних математичних моделей ітераційними методами. Ці методи забезпечують процес почергового корегування варіантів розбиття факторного простору R^n та визначення параметрів моделі.

Комплексне застосування методів класифікації та регресійного аналізу в кусочних моделях дозволить суттєво розширити напрямки використання регресійного аналізу. Таким чином пошук та побудова математичних моделей в класі кусочних функцій із застосуванням методів кускової апроксимації в порівнянні з традиційними нелінійними моделями має ряд переваг: більш просту реалізацію та відносно слабку залежність якості апроксимації від виду шуканої характеристики; потребує використання досить невеликої кількості статистичних даних для потрібної оцінки параметрів; дає можливість при необхідності здійснювати ускладнення моделі, що не призводить до збільшення оцінюваних параметрів; характеризується досить простою інтерпретацією при використанні спеціалістами в задачах аналізу, прогнозування та управління.

Також кусково-лінійні моделі в порівнянні з класичними моделями мають більшу адекватність. При цьому суттєво підвищується не тільки середня точність апроксимації, а ще й індивідуальна точність. Ця особливість кусково-лінійної моделі усуває недолік класичних регресійних моделей, який полягає в значній різниці в апроксимаційній здатності в різних областях факторного простору, і відповідно ж до цього часто непридатні для індивідуального прогнозування.

Методика застосування кусково-лінійних моделей в промисловості та економічних дослідженнях та інтерпретація результатів досить добре узагальнена та висвітлена.

Алгоритми кускової апроксимації дозволяють вирішувати задачі ідентифікації в умовах погано формалізованого об’єкту дослідження, а побудовані математичні моделі адекватно описують різні реальні об’єкти. Поряд з цим важкість в обчисленні багатьох алгоритмів обмежує застосування цих методів при вирішенні прикладних задач. Для усунення цього недоліку в реальних системах потрібна передбачити можливість перебудови математичних

моделей та їх удосконалення в процесі надходження та аналізу нової інформації про об’єкт дослідження.

Відомо, що математичні моделі досліджуваних об’єктів, які уточнюються з мірою накопичення даних про досліджуваний об’єкт називають адаптивними [126-129]. При традиційному підході ідентифікація математичної моделі досліджуваного об’єкту здійснюється один раз в процесі проектування. В системі прогнозування властивостей та управлінні якістю продуктів текстильного виробництва (пряжа, тканини тощо) бажано використовувати повторну, а інколи й неперервну (в реальному масштабі часу) ідентифікацію об’єкту за допомогою мікропроцесорної та обчислювальної техніки. В цьому випадку забезпечується адаптація системи в умовах невизначеності, а також при зміні умов функціювання об’єкту дослідження. При застосуванні методів побудови кускових моделей потрібно проводити перерахунок параметрів з мірою отримання нових спостережень, що досить спрощено із застосуванням обчислювальної техніки.

Поява рекурентних методів та алгоритмів, які дозволяють ефективно обробляти дані спостережень за динамічним об’єктом на ЕОМ типу ПК з врахуванням вимог до оперативності в реальному масштабі часу. Застосування рекурентних методів ефективне в системах, в яких інформація про досліджуваний об’єкт поступає безперервно за допомогою вимірювальних пристроїв (датчиків), які встановлені на діючому устаткуванні. Для виробництв в яких немає встановлених датчиків на діючому устаткуванні застосування рекурентних алгоритмів малопридатне.

Поряд із вищенаведеним, в сучасних методах ідентифікації розробляються адаптивні алгоритми, які поєднують в собі процес побудови математичної моделі та реалізацію управління за цією моделлю. Цей принцип має назву дуального управління. Ряд алгоритмів, побудованих за цим принципом базується на ідеї локальної ідентифікації. Методи, які базуються на

використанні ідеї локальної ідентифікації є подальшим розвитком методів відновлення нелінійних залежностей.

Ідея застосування методів локальної ідентифікації полягає в апроксимації невідомої залежності $y=F(X)$, яка є нелінійною за всією областю визначення незалежних змінних, лінійною функцією в деяких межах заданої точки X^0. Ця точка є центром апроксимації і її можна назвати точкою відновлення моделі. Ідея базується на тому, що якщо поверхня регресії (відгуку) є достатньо гладкою, тоді її можна вважати лінійною, і таким чином можна обмежитися першим членом розкладу функції $y=F(X)$ в ряд Тейлора в межах точки відновлення X^0 :

$$F\ (x) = F(x^0) + F'(x^0)(x - x^0) + 0(\|x - x^0\|) \qquad (3.18)$$

В цьому випадку можливе застосування традиційної параметричної регресії для оцінки коефіцієнтів при перших членах розкладу поверхні відгуку в ряд Тейлора в межах точки відновлення.

Розробка локальних методів апроксимації дозволяє побачити їх ідеї в алгоритмах, які отримані для інших міркувань, і використовувати це для побудови поліпшених їх модифікацій. Так непараметричний метод відновлення регресії Надарая-Ватсона є методом локальної апроксимації поліномом нульового ступеня з квадратичною функцією втрат. Ідеї, які близькі до методів локальної апроксимації, лежать в основі методів побудови потенціальних функцій Айзермана-Бравермана-Розоноера та алгоритмів ідентифікації регресії, а також щільності вірогідності до „найближчих сусідів”. Методи локальної апроксимації дозволяють мати більш повну інформацію із експериментальних статистичних даних і краще підходять у випадку поганоформалізованих об’єктів та при наявності обмеженого обсягу досить „зашумлених” даних.

Виходячи з вищенаведеного для опису складних нелінійних об’єктів більш прийнятними є методи кусково-лінійної та локальної апроксимації. В

загальному випадку принцип локальної апроксимації дозволяє забезпечити при застосуванні цього методу більшу точність в порівнянні з відомим методом найменших квадратів. Метод локальної апроксимації в кожному X вирішує проблему наближення $Y(X)$ на зменшеному проміжку зміни аргументу. В умовах гладкості поверхні відгуку $Y(X)$ цей метод дозволяє дати ефективне вирішення поставленої задачі. Крім цього, в даному випадку, немає потреби в попередньому аналізі вихідних даних і визначенні їх однорідності, так як локальна лінійна математична модель буде побудована на всій області і буде представляти собою відому лінійну регресійну модель.

Методи локальної апроксимації досить складні у обчислені. Але з все ширшим застосуванням обчислювальної техніки та інформаційних технологій ці методи набувають актуальності в застосуванні для реальних систем прогнозування властивостей продуктів текстильного виробництва та управління їх якістю.

До переваг методів локальної апроксимації можна віднести: відсутність необхідності в апріорній інформації про структуру математичної моделі; відсутність потреби в проведенні складного статистичного аналізу на етапі попередньої обробки даних; можливість їх адаптації до зміни умов виробництва та вимог споживача.

3.3. Особливості застосування ідентифікації в прогнозуванні властивостей текстильних матеріалів

Ідентифікація зміни властивостей текстильних матеріалів в умовах виробництва та експлуатації полягає у побудові моделі перетворення цих властивостей за отриманими в реальних умовах вхідних та вихідних параметрів продуктів перетворення.

Розглянемо деякий процес зміни властивостей текстильного матеріалу, кінцевий продукт якого створюється за деяку скінченну кількість N етапів. Кожний k-й етап процесу ($1 \le k \le N$) характеризується значенням певного

(векторного) контрольованого параметру $x^k = (x_1^k,...,x_{n_k}^k)$, $1 \le k \le N$ (вектор умов етапу) і значенням вектора ознак (характеристик якості) продукту $y^{k-1} = (y_1^{k-1},...,y_{m_{k-1}}^{k-1})$ $(1 < k \le N)$, які даний продукт набув на попередньому $(k-1)$-му етапі - «вхід» етапу. «Вихід» k-го етапу характеризується значенням вектора ознак $y^k = (y_1^k,...,y_{m_k}^k)$. Вектор y^0 характеризує набір властивостей (ознак) продукту, які він мав перед початком процесу їх перетворення. Цей вектор вважається відомим. (Зауважимо, що при фіксованих k вектори x^k можна віднести до так званих ендогенних змінних, а y^{k-1} — до екзогенних). За означенням, процес перетворення властивостей завершується задовільно, якщо вектор ознак y^N останнього N-го етапу належить заздалегідь визначеній підмножині евклідового простору R^{m_N}.

Будемо вважати, що дії кожного етапу процесу перетворення властивостей текстильних матеріалів направлені на зміну в потрібному напрямі значення вектора властивостей (ознак). З математичної точки зору це означає, що існують певні залежності, яким повинні задовольняти параметри процесу і вектори властивостей (ознак) продукту. З іншого боку, процесам перетворення властивостей притаманна певна стохастичність: відомо, що навіть при найбільшому можливому ступені налагодженості виробництва буде існувати той чи інший розкид параметрів якості продукту (координати векторів ознак). Останнє зауваження означає, що в математичні залежності, про які щойно йшла мова, повинні бути включені випадкові складові. Виходячи з вищезазначеного можна припустити, що значення вказаних змінних задовольняють наступним рівностям (структурним співвідношенням):

$$f^1(x^1, y^0; y^1; \varepsilon^1) = 0;$$

$$f^2(x^2, y^1; y^2; \varepsilon^2) = 0,$$

……

$$f^{k}(x^{k}, y^{k-1}; y^{k}; \varepsilon^{k}) = 0,$$

…….

$$f^{N}(x^{N}, y^{N-1}; y^{N}; \varepsilon^{N}) = 0. \qquad (3.19)$$

де f^{k}, $k = 1,\ldots, N$ — деякі функції; ε^{k} — випадкові величини (вектори).

В задачах проектування та прогнозування властивостей текстильних матеріалів інформація про конкретний вигляд функцій f^{k} та розподіли ймовірностей величин ε^{k} є важливою.

На жаль, зазначену інформацію дуже рідко можна одержати, виходячи тільки з аналізу змісту і дій конкретного процесу перетворення властивостей. Тому її доводиться одержувати емпіричним шляхом, використовуючи дані щодо проходження реальних процесів перетворення властивостей і попередні міркування фахівців. При цьому точний вигляд функцій f^{k} вдається одержати тільки у дуже простих випадках, тому на практиці приймаються ті чи інші припущення щодо конкретного вигляду функцій f^{k}.

Як правило, вважається, що ці функції є відомими з точністю до деякого параметру $\theta^{k} = (\theta_1^k,\ldots,\theta_{l_k}^k)$ (на відміну від введеного вище параметру процесу перетворення властивостей x^{k}, що був введений вище, θ^{k} є параметр залежності). У такій ситуації система структурних співвідношень (3.19) може бути записаною у наступному вигляді:

$$f^{1}(x^{1}, y^{0}; y^{1}; \theta^{1}; \varepsilon^{1}) = 0;$$
$$f^{2}(x^{2}, y^{1}; y^{2}; \theta^{2}; \varepsilon^{2}) = 0,$$

……..

$$f^{k}(x^{k}, y^{k-1}; y^{k}; \theta^{k}; \varepsilon^{k}) = 0,$$

…….

$$f^{N}(x^{N}, y^{N-1}; y^{N}; \theta^{N}; \varepsilon^{N}) = 0. \qquad (3.20)$$

У загальному випадку, неможливо виключити ситуацію, в якій крім змінних y^{k-1}, y^k, x^k, функції f^k залежать ще й від деяких змінних з числа $\{y^j, j \le k-2\}$ та $\{x^j, j \le k-1\}$ (так звані лагові змінні), так що мають місце наступні наведені рівності:

$$f^k = f^k(x^{k-q}, \ldots, x^k; y^{k-r}, \ldots, y^{k-1}, y^k; \theta^k; \varepsilon^k),\ k = 1, \ldots, N \qquad (3.21)$$

де $q = q(k)$: $0 \le q < k$ та $r = r(k)$: $1 \le r \le k$

Зрозуміло, що залежність функцій f^k від лагових змінних означає, що на результат k - го етапу процесу перетворення властивостей текстильних матеріалів мають вплив результати і умови проведення не тільки безпосередньо попереднього етапу, а й деяких інших попередніх етапів (ефект запізнення).

Основними задачами математичного моделювання такого процесу є адекватний вибір функцій f^k, оцінка параметрів θ^k, $k = 1, \ldots, N$, оцінка імовірнісної поведінки випадкових складових залежностей, розробка алгоритмів статистичного моделювання процесу перетворення властивостей текстильних матеріалів на базі обраної моделі.

На практиці, щоб уникнути необґрунтованого ускладнення досліджень, часто припускають, що співвідношення (3.20) можливо представити у явному вигляді відносно змінних y^k, так що система (3.20) (з урахуванням рівностей (3.21)) приймає наступний вигляд:

$$y^1 = f^1(x^1; y^0; \theta^1; \varepsilon^1);$$

$$y^2 = f^2(x^1, x^2; y^0, y^1; \theta^2; \varepsilon^2),$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$y^k = f^k(x^{k-q}, \ldots, x^k; y^{k-r}, \ldots, y^{k-1}; \theta^k; \varepsilon^k),$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$y^N = f^N(x^{N-q}, \ldots, x^N; y^{N-r}, \ldots, y^{N-1}; \theta^N; \varepsilon^N). \qquad (3.22)$$

Зауваження. У напрямку можливості подальших спрощень зауважимо також, що при дослідженні процесу зміни властивостей під впливом конкретного технологічного процесу має сенс спочатку не включати в співвідношення (3.22) параметри x^k, якщо тільки не мається на увазі задача оптимізації процесу саме за цими параметрами. В разі позитивного результату перевірки на адекватність такі моделі можуть використовуватися для прогнозування кінцевих результатів досліджуваного процесу при не надто широкому варіюванні значень вектора початкових умов y^0.

Для ідентифікації визначеної математичної моделі необхідно виконати ту чи іншу кількість експериментів. За означенням, вони полягають в послідовному виконанні належних дій процесу перетворення властивостей при різних припустимих значеннях параметрів перетворення і фіксації властивостей (ознак) продукту, які він набуває в процесі виконання зазначених дій. Інколи при цьому можливе планування проведення експериментів, яке полягає в попередньому визначенні значень параметрів перетворення властивостей x^k, $k = 1,\ldots, N$ та вектора початкових властивостей y^0. В інших випадках таке планування не є можливим.

Незалежно від того, виконуються експерименти у відповідності з попереднім планом відбору x^k, або дослідник одержує дані пасивного експерименту, в конкретних ситуаціях відносно співвідношень (3.22) робляться уточнюючі припущення. Такі припущення базуються як на професійних міркуваннях, так і на цілком слушному бажанні застосувати розроблені відомі методи дослідження статистичного аналізу даних.

Так, випадкова складова моделі найчастіше вважається адитивною або мультиплікативною, а залежності мають поліноміальний або степеневий вид. Можливе використання тих чи інших перетворень предикторних (незалежних) змінних і змінних відгуку (залежних змінних). Обчислення умовних

(частинних) коефіцієнтів кореляції між змінними моделі може призвести до її спрощення за рахунок попереднього уточнення значень величин q та r.

Для оцінювання параметрів (коефіцієнтів, показників степенів тощо) співвідношень типу (3.22) можуть застосовуватися методи класичного регресійного аналізу або їх узагальнення та модифікації, що розроблені спеціально для випадків, коли основні припущення класичної теорії не мають місця.

Зупинимося дещо детальніше на останньому положенні. Припустимо для простоти, що співвідношення (3.22) визнано доцільним вважати лінійними за параметрами залежностей і за виробничими змінними, лагові змінні, за винятком y^{k-1}, відсутні (тобто $q = 0$, $r = 1$), а ознака якості і параметри умов перетворення властивостей є скалярними, так що маємо справу з співвідношеннями наступного вигляду:

$$y^k = \beta_0^{(k)} + \beta_1^{(k-1)} y^{k-1} + \alpha^{(k)} x^k + \varepsilon^k,\ k = 1,\ldots, N. \qquad (3.23)$$

Теоретично доцільний спосіб використання даних зміни властивостей текстильних матеріалів для оцінювання параметрів α, β цих залежностей пов'язаний з питанням, чи є припустимим у даному випадку вважати значення y^{k-1} та x^k в (3.23) звичайними фіксованими числами або їх, як і величину y^k потрібно розглядати як випадкові величини. Відповідні способи оцінки зазначених параметрів у цих випадках можуть значно відрізнятися один від одного. Пояснимо, що стохастичність x^k пов'язана, в основному, з похибками метрологічного плану, в той час як стохастичність величин y^j є суттєвим наслідком стохастичності самого процесу перетворення властивостей.

З більш практичної точки зору питання про належний спосіб оцінювання параметрів залежностей (3.23) пов'язане з наявністю або відсутністю стохастичної або структурної залежності між значеннями змінних параметрів перетворення властивостей y^{k-1} та x^k із значеннями стохастичного збурення ε^k.

Здається досить очевидним, і практика дає підтвердження цьому, що для процесів перетворення властивостей текстильних матеріалів, для яких припускаються надто широкі інтервали варіювання можливих значень y^{k-1} або x^k, згадана залежність швидше за все буде мати місце. Це вносить додаткові питання щодо обґрунтованості використання класичного регресійного аналізу і, як наслідок, додає ускладнень в побудову математичної моделі процесу і знижує надійність побудованої моделі. З іншого боку, надто звужені інтервали змінювання параметрів моделей типу (3.21), (3.22) ведуть до низької якості оцінок параметрів моделей, навіть якщо останні дають позитивні результати при дослідженні на адекватність.

Враховуючи вищезазначене, застосування методів ідентифікації в системі прогнозування властивостей текстильних матеріалів є найбільш сприйнятим для побудови їх математичної моделі з врахуванням певних вищезазначених особливостей [118].

3.4. Побудова математичних моделей та усунення колінеарності при застосуванні ідентифікації у визначенні властивостей текстильних матеріалів

При підборі коефіцієнтів загальної лінійної моделі в системі прогнозування властивостей текстильних матеріалів можуть зустрітися ускладнення, які пов’язані із поганою зумовленістю матриці експерименту X (з метою кращого розрізняння скалярних і векторно-матричних величин для останніх в цьому підрозділі використовується напівжирний шрифт). Під поганою зумовленістю матриці X в регресійному аналізі розуміють будь-які особливості зазначеної матриці, що ведуть до неможливості або до ненадійності визначення матриці $(X'X)^{-1}$, де знак $'$ означає транспонування матриці. Добре відомо, що відсутність оберненої матриці у матриці $X'X$ веде до існування нескінченної кількості розв’язків нормальної системи рівнянь.

Теоретично матриця $(X'X)^{-1}$ не існує лише у випадку, коли її визначник дорівнює 0. Останнє можливо тільки у випадку, коли матриця експерименту X має неповний ранг, тобто в наявності є лінійна залежність між її векторами-стовпцями. Зважуючи на те, що матриця X утворена експериментальними даними, така ситуація здається малоймовірною, але є багато прикладів, коли має місце наближена лінійна залежність між вказаними векторами. (В спланованих експериментах, коли елементи матриці X є нулями або одиницями, нерідкою є і точна лінійна залежність). Наявність наближеної лінійної залежності може, наприклад, означати, що існує така лінійна комбінація деяких векторів-стовпців матриці X, що у границях точності вимірювань можна вважати наближено рівною деякому іншому вектору-стовпцю даної матриці. Погана зумовленість матриці X веде до ненадійного оцінювання регресійних коефіцієнтів, що знижує якість регресійних моделей і може навіть привести до повного їх знецінювання.

Ситуація, коли між векторами-стовпцями матриці експерименту X мають місце точні або наближені лінійні залежності, в статистичній літературі носить назву колінеарності або мультиколінеарності.

Із сказаного вище випливає, що при побудові математичних моделей реальних процесів є доцільним передбачити ті чи інші процедури, що допомагають виявити зазначене явище та, по можливості, усунути його наслідки. Дане питання становить спеціальний інтерес, оскільки використані в ній експериментальні дані в помітній мірі виявили ознаки обговорюваного явища.

Можна знайти декілька типів зазначених процедур. Одні з них використовують так званий спектральний розклад матриці X [75-84] (наприклад, метод Белслі). Інші використовують ті чи інші перетворення предикторних змінних. Зокрема, до певних лінійних перетворень зазначених змінних зводиться метод головних компонент та метод ортогоналізації Грама

— Шмідта. Зважуючи на прозорий геометричний зміст останнього, в даній роботі з обговорюваного приводу обрано саме його. Створено комп'ютерну програму для реалізації відповідного алгоритму, в основу якого покладено процедуру так званої модифікованої ортогоналізації Грама — Шмідта.

Надалі в даному підрозділі розмірність вектора спостережень Y позначається n, так що $Y = (y_1, y_2, \ldots, y_n)'$, $n \geq 1$. Незалежні змінні $x_.$ матимуть номери від 0 до $p - 1$, $p \geq 1$. Нумерація компонентів вектора коефіцієнтів $\beta = (\beta_0, \ldots, \beta_{p-1})'$ і вектора оцінок коефіцієнтів $b = (b_0, \ldots, b_{p-1})'$ є відповідною. Зокрема, матриця експерименту X матиме розмірність $n \times p$, а її вектори-стовпці позначатимуться $x_0, \ldots, x_{p-1}$.

Для роз'яснення основних принципів обраної процедури виявлення колінеарності (мультиколінеарності) зручніше за все скористуватися геометричною інтерпретацією методу найменших квадратів (МНК) як операцією проектування вектора спостережень на лінійний простір $L(x_0, \ldots, x_{p-1})$, що народжений векторами-стовпцями $x_0, \ldots, x_{p-1}$ матриці експерименту X. Інше позначення того ж підпростору — $L(X)$.

Згідно з зазначеною інтерпретацією, оцінка b вектору коефіцієнтів β регресійної моделі $y = \beta_0 x_0 + \ldots + \beta_{p-1} x_{p-1} + \varepsilon$ є вектором координат проекції вектора спостережень y на згаданий лінійний простір. Якщо вектори $x_0, \ldots, x_{p-1}$ є лінійно незалежними, то вказаний вектор оцінок b визначений єдиним чином і може бути знайденим за відомою рівністю:

$$b = (X' X)^{-1} X' Y. \qquad (3.24)$$

Якщо ж вказана система векторів, є лінійно залежною, то потрібні координати не визначаються єдиним чином. Якщо має місце наближена лінійна залежність, то визначення вектора b не є надійним, при цьому дисперсії оцінок, як правило є занадто високими.

Очевидно, знаходження вектора B за рівністю (3.24) суттєво спрощується, якщо вектори $x_0,\ldots, x_{p-1}$ є взаємно ортогональними. Тоді рівність (3.24) переходить у наступні співвідношення:

$$b = (b_0,\ldots, b_{p-1}), \quad b_i = \frac{\boldsymbol{x}_i'\boldsymbol{Y}}{\boldsymbol{x}_i'\boldsymbol{x}_i}, \; i = 0,\ldots, p-1, \tag{3.25}$$

в яких символ типу $a'b$ при $a = (a_1,\ldots, a_m)$, $b = (b_1,.b_m)$ позначає величину $a_1 b_1 + \ldots + a_m b_m$, так що $\boldsymbol{a}_i'\boldsymbol{a}_i = a_1^2 + \ldots + a_m^2$. Остання величина зветься нормою вектора a і часто позначається як $||a||^2$. Таким чином, якщо є відомим деякий ортогональний базис $z_0,\ldots., z_{p-1}$ простору $L(X)$, то, уникаючи операції знаходження оберненої матриці $(X'X)^{-1}$, за рівностями (3.25) можна знайти коефіцієнти регресії y на змінні $z_0,\ldots.,z_{p-1}$, значеннями яких є відповідні координати векторів ортогонального базису (мається, звичайно, на увазі, що у рівності (3.25) замість векторів x_i підставляються вектори z_i). Після цього у вираз регресії y на $z_0,\ldots., z_{p-1}$ замість кожної змінної z_j підставляються лінійна комбінація початкових змінних x_i з коефіцієнтами, що дорівнюють відповідним коефіцієнтам виразу вектора z_j через вектори $x_0,\ldots,x_{p-1}$. Щоправда, при знаходженні останніх також не вдається уникнути обчислення деяких обернених матриць, але існують алгоритми, для яких зазначені матриці мають спеціальний вигляд, наприклад, верхній або нижній трикутний. Тож з обчислювальної точки зору такий спосіб ідентифікації регресійних коефіцієнтів має певні переваги.

Відомим методом побудови ортогональної системи векторів $q_1,\ldots, q_M$, лінійна оболонка якої $L(Q)$ співпадає з лінійною оболонкою $L(A)$ заданої системи векторів $a_1,\ldots, a_N$, $M \le N$, є класичний метод ортогоналізації Грама — Шмідта. В результаті його застосування лінійно незалежна система $a_1,\ldots, a_N$ перетворюється в ортогональну систему $q_1,\ldots,q_N$ з ненульовими векторами q_i, $i = 1,\ldots, N$. Зауважимо, що в літературі часто наводяться варіанти методу

ортогоналізації, що ведуть до ортонормованої системи $q_1,\ldots,q_N$, тобто, крім ортогональності, має місце ще й нормованість ($\|q_i\| = 1$, $i = 1,\ldots, N$); останнє для нас не є необхідним, тож в алгоритмах ортогоналізації, що наводяться нижче, відповідні кроки можуть бути відсутніми. Якщо a_1 не є нульовим вектором, то в якості q_1 береться саме a_1. В якості q_2 береться ортогональна складова розкладу вектора a_2 за підпростором, що натягнутий на вектор q_1. Подальша конструкція припускає індуктивний опис: якщо вектори $q_1,\ldots, q_{k-1}$, $2 \le k < N$, вже побудовані, то вектор q_k є ортогональною складовою розкладу вектора a_k за підпростором, що натягнутий на вектори $q_1,\ldots, q_{k-1}$. Кількість векторів M ортогональної системи дорівнює кількості N векторів початкової системи. Якщо початкова система $a_1,\ldots, a_N$ не обов'язково є лінійно незалежною, але a_1 лишається ненульовим (зрозуміло, що без обмеження загальності так можна вважати завжди), конструкція ортогональної системи $q_1,\ldots, q_M$ (тут вже може бути $M < N$) лишається, в принципі, незмінною. Треба тільки врахувати, що ортогональна складова вище зазначеного вектора a_k може виявитися нульовою. (Це є ознакою того, що вектор a_k є лінійною комбінацією $a_1,\ldots,a_{k-1}$). У цьому разі (нульовий) вектор q_k просто не включається до складу системи $q_1,\ldots, q_M$. Існує принаймні два варіанти алгоритмів, що реалізують визначені дії — класичний і модифікований.

При розгляді експериментальних даних ми ототожнюємо поняття нульового вектора і «майже нульового вектора» або вектора, наближено рівного нульовому. Наближена рівність вектора нулю в даній роботі означає рівність 0 його норми з точністю до малої величини ε, яку повинен вказати фахівець досліджуваної проблеми. Розглядання «майже нульових» векторів замість «чисто нульових» потребує лише мінімальних додатків до вищезгаданих алгоритмів. Так, алгоритм переходу від початкової системи векторів $a_1,\ldots, a_N$ до ортогональної системи $q_1,\ldots, q_M$ на основі модифікованого алгоритму ортогоналізації схематично можна представити наступним чином:

For $k = 1$ to N do

$v_k = a_k$,

if $\| v_k \| \geq \varepsilon$, then do

$$a_j = a_j - \frac{(\boldsymbol{a}_j' \boldsymbol{v}_k)\boldsymbol{v}_k}{\|\boldsymbol{v}_k\|^2}, \; j = k+1, \ldots, N,$$

else

$v_k = 0$

end.

Таким чином одержують систему взаємно ортогональних векторів $v_1,\ldots,v_N$, серед яких, можливо, є нульові. Позначаючи $q_1,\ldots, q_M$ ненульові вектори вказаної системи, одержуємо потрібну ортогональну систему ненульових векторів, що володіє властивістю $L(Q) = L(A)$.

Зауваження 3.1. Помітимо, що коли видалити з початкової системи $a_1,\ldots, a_N$ вектори з індексами, для яких мають нульові значення вектори $v_.$, то одержимо лінійно незалежну систему $\boldsymbol{a}_{i_1},\ldots,\boldsymbol{a}_{i_M}$, котра також складається з M векторів. Щоб не перевантажувати позначення, будемо вважати, що такими векторами є $a_1,\ldots, a_M$. Зважуючи на сказане, можна вважати, що системи $a_1,\ldots, a_N$ і $q_1,\ldots,q_M$ мають однакову кількість $M = N$ (лінійно незалежних для першої системи і ненульових та взаємно ортогональних для другої системи) векторів. Зрозуміло, що і зазначені лінійна незалежність, і ортогональність мають місце з точністю до обчислювальної похибки, але поки що не будемо приділяти уваги цій обставині.

Позначення 3.1. Сформульований вище алгоритм переходу від початкової системи векторів $a_1,\ldots, a_N$ до ортогональної системи векторів у випадку врахування тільки точних (звичайно, у рамках комп'ютерної арифметики) рівностей нулеві розглядуваних векторів у скорочено позначається як *MGS*. У випадку врахування ситуацій з «майже нульовими» векторами у даній роботі вживатиметься абревіатура *AMGS*.

Розглянемо детальніше використання викладеної вище теорії до задач ідентифікації лінійних регресійних моделей змінювання ознак текстильних матеріалів. (Під ідентифікацією у даному випадку будемо розуміти знаходження оцінок коефіцієнтів у вказаних моделях, не зупиняючись поки що на проблемах введення в сукупність регресорів тих чи інших функцій від вибіркових даних).

Неважко побачити, що зв'язок між системами введених вище векторів $a_1,\ldots, a_N$ та $q_1,\ldots,q_N$ можна подати у форму наступної векторно-матричної рівності

$$A = QR, \tag{3.26}$$

в якій $A = A_{n \times N}$ — матриця розміру $n \times N$, складена з векторів-стовпців $a_1,\ldots, a_N$, де n — кількість компонентів (координат) цих векторів. При цьому $Q = Q_{n \times N}$ — матриця розміру $n \times N$, складена векторами-стовпцями $q_1,\ldots,q_N$. Нарешті, $R = R_{N \times N}$ — верхня трикутна матриця розміру $N \times N$, складена з елементів $r_{i\,j}$, що визначаються рівностями

$$r_{ij} = \begin{cases} 0, & i > j \\ 1, & i = j \\ \dfrac{\boldsymbol{a}_j' \boldsymbol{q}_i}{\|\boldsymbol{q}_i\|^2}, & i < j \end{cases} . \tag{3.27}$$

В принципі, подальші дії побудови (лінійної) моделі залежності предикторної змінної y від регресорних змінних $x_0,\ldots, x_{p-1}$ можуть полягати у наступному. Застосовуючи процедуру *AMGS* (позначення 3.1) до матриці експерименту X, будуємо матрицю ортогональних змінних Z. Якщо в матриці Z виявлено нульові вектори-стовпці або «майже нульові» вектори-стовпці, що визначені вище, то регресорні змінні з відповідними номерами виключаються

як з числа змінних z_j (лінійних комбінацій початкових змінних x_j), так і з числа самих початкових змінних. Позначимо залишені початкові змінні a_j, а залишені ортогональні змінні — q_j, $j = 1,\ldots,N$. Матрицю експерименту, що відповідає змінним a_j, позначимо A. Введену вище матрицю ортогональних стовпців q_j, що відповідає матриці A, позначимо через Q. За рівністю (3.3), в якій змінні x_i замінені на q_j, оцінимо коефіцієнти c_j регресії y на $q_1,\ldots, q_N$. Одержимо оцінку функції регресії:

$$\hat{y} = c_1 q_1 + \ldots + c_N q_N, \tag{3.28}$$

де

$$c_j = \frac{\boldsymbol{q}_j' \boldsymbol{Y}}{\boldsymbol{q}_j' \boldsymbol{q}_j}, \; j = 1,\ldots,N. \tag{3.29}$$

Для розв'язання початкової задачі — знаходження оцінки функції регресії y на регресори $x_0,\ldots, x_{p-1}$ треба знайти оцінку функції регресії на змінні $a_1,\ldots, a_N$. Для цього досить знайти матрицю R^{-1}, обернену до матриці R. З рівності

$$Q = A\, R^{-1}. \tag{3.30}$$

неважко побачити, що коефіцієнти виразу регресорної змінної q_j як лінійної комбінації змінних $a_1,\ldots, a_N$ утворюють (в потрібному порядку) j-й вектор-стовпчик матриці R^{-1}. Дійсно, шукані коефіцієнти співпадають з відповідними коефіцієнтами виразу вектора-стовпця q_j як лінійної комбінації стовпців матриці A. Якщо тепер підставити в (3.28) знайдені таким чином вирази змінних q_j через $a_1,\ldots, a_N$, звести подібні члени і замінити змінні a_j на відповідні x_j, то буде одержано оцінку функції регресії y на змінні $x_0,\ldots, x_{p-1}$. При цьому, як це випливає з попереднього, з числа $x_0,\ldots, x_{p-1}$ будуть виключені змінні, що викликають явище мультиколінеарності.

Описана процедура піддається певній модифікації, яка хоча й використовує менш очевидні міркування, проте зменшує чисельну похибку

виконаних операцій і дозволяє уникнути програмування дій над символьними виразами.

Введемо матрицю $\tilde{\boldsymbol{X}} = \tilde{\boldsymbol{X}}_{n \times (p+1)} = [X:Y]$, тобто матрицю, утворену з матриці експерименту X доповненням останньої вектором-стовпцем $Y = (y_1,\ldots,y_n)'$, що утворений значеннями предикторної змінної y. До даної матриці застосовуємо процедуру *AMGS* (позначення 3.1). Кількість ненульових векторів-стовпців одержаної ортогональної системи (а значить, і кількість векторів-стовпців матриці $\tilde{\boldsymbol{X}}$, що залишаться після застосування *AMGS*) позначимо $N + 1$. Самі зазначені вектори-стовпці позначимо $q_1,\ldots,q_{N+1}$ та $a_1,\ldots, a_{N+1}$ відповідно. Матриці, що утворені вказаними векторами-стовпцями, позначимо, відповідно, $\tilde{\boldsymbol{Q}}$ та $\tilde{\boldsymbol{A}}$. Відповідно до рівності (3.26) маємо тут рівність

$$\tilde{\boldsymbol{A}} = \tilde{\boldsymbol{Q}}\ \tilde{\boldsymbol{R}}, \tag{3.31}$$

в якій матриця $\tilde{\boldsymbol{R}}$ визначається цілком аналогічно матриці R з рівності (3.26) (див. (3.27)). Додатково введемо ще діагональну матрицю $\tilde{\boldsymbol{D}} = \tilde{\boldsymbol{D}}_{(N+1)\times(N+1)}$ з діагональними елементами $(\boldsymbol{q}_i'\boldsymbol{q}_i)^{1/2}$, $i = 1,\ldots,N + 1$. Представимо введені матриці у наступному блочному вигляді

$$\tilde{\boldsymbol{R}} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{R} & \boldsymbol{c} \\ \boldsymbol{0} & 1 \end{pmatrix},\ \tilde{\boldsymbol{D}} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{D} & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & d_{N+1} \end{pmatrix}, \tag{3.32}$$

де R — підматриця $\tilde{\boldsymbol{R}}$ розміру $N \times N$, c — вектор-стовпчик довжини N, вектор 0 у матриці $\tilde{\boldsymbol{R}}$ — вектор-рядок довжини N, 1 — число 1, D — (діагональна) підматриця $\tilde{D}$ розміру $N \times N$, 0 у верхній та нижній частинах матриці $\tilde{\boldsymbol{D}}$ — відповідно, нульові вектор-стовпчик та вектор-рядок довжини N.

З результатів випливає, що коли тільки вектор спостережень Y не є елементом $L(X)$, то вектор b шуканих оцінок коефіцієнтів регресії y на незалежні змінні $a_1,\ldots, a_N$ є розв'язком системи лінійних рівнянь

$$R\,b = c, \tag{3.33}$$

в якій матриця R є верхньою трикутною, так що система розв'язується просто послідовним знаходженням невідомих. Після такого розв'язання залишається лише замінити у виразі оцінки функції регресії y на $a_1,\ldots, a_N$ кожну змінну a_j відповідною змінною $x_.$. При цьому остаточна сума квадратів побудованої моделі дорівнюватиме величині $\boldsymbol{q}_i'\boldsymbol{q}_i$ при $i = N + 1$, тобто квадрату елемента d_{N+1} матриці $\tilde{\boldsymbol{D}}$.

Зазначене вище обґрунтовує доцільність застосування пасивного експерименту для отримання експериментальних даних в системі прогнозування властивостей текстильних матеріалів. Пасивні методи краще застосовувати у випадках, коли неможливо внесення штучних змін вхідних параметрів при нормальних умовах виготовлення та експлуатації продукту, а також у випадках, коли рівень перешкод досить значний або коли досліджувані продукти мають декілька входів та виходів, що часто корелюють між собою.

Для побудови адекватної математичної моделі процесу перетворення властивостей текстильних матеріалів доцільно використовувати регресійний аналіз, а для оцінки параметрів отриманої моделі - метод найменших квадратів. У випадку мультиколінеарності факторів використовують змішані методи оцінки параметрів лінійної регресійної моделі. При відхиленнях закону розподілення випадкової похибки від нормального використовують стійкі методи оцінювання.

Виходячи з необхідності математичного опису зміни властивостей волокнистих продуктів в процесі їх виробництва для вирішення задач системного аналізу та управління якістю продукції, а також виходячи із

складності опису вищезазначеного процесу доцільно використання методів ідентифікації великих виробничих систем.

Кусково-лінійні моделі в порівнянні з класичними моделями мають більшу адекватність, при цьому суттєво підвищується не тільки середня точність апроксимації, а ще й індивідуальна точність. Алгоритми кускової апроксимації дозволяють вирішувати задачі ідентифікації в умовах погано формалізованого об’єкту дослідження, а побудовані математичні моделі адекватно описують різні реальні об’єкти.

В системі прогнозування властивостей та управлінні якістю продуктів текстильного виробництва (пряжа, тканини тощо) бажано використовувати повторну, а інколи й неперервну (в реальному масштабі часу) ідентифікацію об’єкту за допомогою мікропроцесорної та обчислювальної техніки. В цьому випадку забезпечується адаптація системи в умовах невизначеності, а також при зміні умов функціювання об’єкту дослідження. При застосуванні методів побудови кускових моделей потрібно проводити перерахунок параметрів з мірою отримання нових спостережень, що досить спрощено із застосуванням обчислювальної техніки.

Методи локальної апроксимації дозволяють мати більш повну інформацію із експериментальних статистичних даних і краще підходять у випадку поганоформалізованих об’єктів та при наявності обмеженого обсягу досить „зашумлених” даних. Для опису складних нелінійних об’єктів більш прийнятними є методи кусково-лінійної та локальної апроксимації. В загальному випадку принцип локальної апроксимації дозволяє забезпечити при застосуванні цього методу більшу точність в порівнянні з відомим методом найменших квадратів.

Використання жорстких фіксованих конструкцій математичних моделей є суттєвою причиною порушення адекватності вибраних моделей реальним властивостям продуктів прядильного виробництва та опису сукупності

початкових результатів. Статистичні закономірності носять усереднений характер, а багатофакторні регресійні моделі в більшості дають добру апроксимацію для об’єктів, які близькі до середніх. Відповідно до цього, регресійна математична модель придатна для аналізу та прогнозування властивостей індивідуального об’єкту тільки в однорідних сукупностях. Для багатофакторних моделей; при збільшенні числа параметрів знижується точність оцінок та ускладнюється інтерпретація моделі; в умовах неоднорідності початкових даних більшість статистичних критеріїв не працює. Для усунення вищезазначених проблем потрібно застосовувати непараметричні оцінки, які не потребують попереднього вибору параметричного сімейства функцій *F*, в межах якої проводиться пошук певної форми досліджуваної залежності. До непараметричних оцінок відносять: оцінки регресії Надарая-Ватсона та парзеновські оцінки щільності ймовірності. Також до цього класу математичних моделей можна віднести й моделі теорії сплайн-функцій (кусково-лінійних функцій, неперервних в вузлах „зшивання”).

Таким чином, вищезазначені математичні процедури дозволяють усунути явище колінеарності при застосуванні ідентифікації в побудові математичних моделей властивостей текстильних матеріалів в умовах пасивного експерименту. Також наведено детальний опис математичного апарату, що реалізує побудову локальних моделей етапів процесу перетворення властивостей текстильних виробів з урахуванням основних специфічних властивостей даних текстильного виробництва, зокрема, наявності ефектів мультиколінеарності.

Розділ 4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Прогнозування властивостей текстильних матеріалів полягає в наявності системного підходу до забезпечення та підтримання необхідного рівня якості продукції, починаючи з її розробки, виробництва та експлуатації. Ці заходи здійснюються шляхом систематичного контролю та визначеної дії на умови та фактори, які впливають на якість продукції. Вищезазначене пов'язано з наявністю адекватних математичних моделей зміни властивостей продукції в процесі її виробництва, які утворюють цілісну систему [45-47, 77-79, 111-113].

Для побудови загальної математичної моделі системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів та розробки програмного забезпечення, для оптимального застосування моделі в умовах текстильного виробництва використовуються методи системного аналізу в побудові загального алгоритму, та методи ідентифікації (кусково-лінійної апроксимації) для отримання адекватних математичних моделей показників досліджуваних властивостей [45-47, 117-126].

4.1. Розробка методики побудови математичної моделі системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів

В умовах реального текстильного виробництва на основі аналізу попиту, наявності на ринку сировини, допоміжних матеріалів та виробничих можливостей приймається рішення про виробництво тієї чи іншої продукції з властивостями, що задовольняють потреби споживача. У процесі виробництва проводиться вибірковий контроль за багатьма параметрами властивостей текстильних продуктів (сировини, напівфабрикатів, пряжі, тканин тощо), технічний контроль устаткування та параметрів навколишнього середовища.

Також проводиться порівняльний аналіз відповідності отриманих даних їх значенням, представленим в нормативних документах (ТУ, ДСТУ, ГОСТ тощо). Таким чином, у процесі діяльності підприємств нагромаджується велика база даних, в яких відображено процес зміни властивостей текстильних матеріалів [46, 47]. Нагромаджені на підприємствах експериментальні дані досліджень властивостей текстильних матеріалів дозволяють використовувати їх для побудови математичних моделей та програмних комплексів [152].

Використовуючи теоретичні положення, наведені у розділі 3, та експериментальні дані вищеназваного характеру, розроблено програмний комплекс для прогнозування кількісних характеристик процесу перетворення властивостей текстильних виробів на кожному етапі їх виробничого перетворення. Створений програмний комплекс дозволяє здійснювати в діалоговому режимі відбір показників властивостей волокнистих продуктів з формуванням бази даних, проводити їх статистичну обробку на кожному етапі виробничого процесу, обчислювати на основі отриманих даних адекватні кусково-лінійні математичні моделі досліджуваних властивостей, які формують загальну математичну модель їх виробничого перетворення.

Проблемами, які виникають при математичному моделюванні властивостей продуктів текстильного виробництва, і які враховані у розробленому програмному комплексі, є: „зашумленість” та обмежений обсяг результатів спостережень; можлива нелінійність зв’язків між показниками зміни властивостей матеріалів на різних етапах виробничого процесу; відсутність апріорної інформації про структуру математичної моделі; використання даних пасивного експерименту; потреба побудови великої кількості математичних моделей у загальній моделі системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів.

Основою інформаційної бази математичного моделювання властивостей продуктів прядильного виробництва є результати спостереження параметрів

продуктів у процесі нормального функціонування виробничого процесу. При цьому необхідно мати програмні засоби підтримки ведення інформаційної бази, обробки результатів спостережень та побудови прогнозу властивостей матеріалів як в цілому, так і на кожному етапі перетворення. Програмні засоби побудови математичних моделей властивостей повинні мати властивість до адаптації в умовах зміни виробничого процесу, тобто враховувати конкретні особливості умов текстильного виробництва, про які йшлося у попередньому розділі.

Методика побудови загальної математичної моделі системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів полягає в такому:

- формування електронних таблиць початкових даних;
- визначення статистичних показників параметрів (властивостей), наведених в електронних таблицях даних;
- формування зведених електронних таблиць статистичних показників параметрів;
- формування бази даних параметрів;
- побудова структури математичних моделей кожного етапу перетворення властивостей.
- отримання математичної моделі перетворення властивостей текстильних матеріалів на кожному етапі;
- побудова загальної математичної моделі системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів.

Наведемо приклад побудови загальної математичної моделі перетворення властивостей текстильних матеріалів до отримання чистововняної тканини.

Електронні таблиці деяких показників властивостей текстильних продуктів представлені в табл. 4.1 та 4.2 (див. додаток А).

Таблиця 4.1

Перелік показників властивостей текстильних продуктів

Позначення показника	Параметри продукту	Одиниці вимірювання
Y_1^0	Довжина волокна	мм
Y_2^0	Діаметр (тонина) волокна	мкм
Y_3^0	Питоме розривальне навантаження волокна	сН/текс
Y_4^0	Лінійна густина волокна	текс
……		
Y_{10}^{19}	Стійкість до стирання тканини	цикли

Таблиця 4.2

Значення лінійної густини чесаної стрічки

Значення лінійної густини чесаної стрічки, ктекс				
12,6	13,0	11,6	12,2	13,8
12,4	12,6	11,4	13,0	13,6
12,8	12,4	12,4	12,4	14,4
……				
12,4	13,6	13,2	11,8	12,0

У подальшому визначаються статистичні показники кожного показника досліджуваного у роботі текстильного матеріалу і результати заносяться в таблиці подібні до табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Статистичні показники лінійної густини стрічки

Середнє арифметичне, ктекс	Середнє квадратичне відхилення, ктекс	Коефіці-єнт варіації, %	Мода, ктекс	Медіана, ктекс	Мінімум, ктекс	Максимум ктекс
12,6	0,832	6,6	12,6	12,6	11	14,4

Після отримання статистичних характеристик кожного з параметрів досліджуваного продукту результати зводяться в загальну таблицю (табл. 4.4) у

послідовності, яка відповідає переходами виробничого перетворення властивостей текстильного продукту (див. додаток А).

Таблиця 4.4

Зведена таблиця статистичних показників текстильних матеріалів

Номер виробничого переходу	Середнє арифметичне, ктекс	Середнє квадратичне відхилення, ктекс	Коефіцієнт варіації, %	Мода, ктекс	Медіана, ктекс	Мінімум, ктекс	Максимум, ктекс
1	12,6	0,83	6,5	12,6	12,6	11	14,4
2	29,9	0,87	2,9	29,6	30,0	28	31,4
……							
N	25,4	0,71	2,7	25	25,4	24	26,8

Після отримання всіх статистичних характеристик досліджуваних продуктів результати заносяться в табл. 4.5 баз даних (див. додаток А).

Таблиця 4.5

База даних показників властивостей досліджуваних текстильних матеріалів

Y_1^0	Y_2^0	Y_3^0	Y_4^0	Y_5^0	Y_6^0	…….	Y_n^k
59,1	23	7,5	512,9	0,789	105,47	……..	97,7
58,9	22,7	7,6	540,6	0,795	106,5	…….	101,8
60,8	23,5	7,47	512,2	0,801	102,53	…….	101,1
……							
60,2	22,7	7,42	524,1	0,807	102,5	……..	98,5

Примітка: *k* – номер переходу зміни властивостей текстильного продукту;
n – позначення властивості текстильного продукту.

У подальшому розробляється структура математичних моделей властивостей текстильних продуктів. В табл. 4.6 наведений приклад структури математичних моделей прогнозування властивостей тканини. (Додаток А).

Таблиця 4.6.

Структура математичних моделей показників властивостей досліджуваних текстильних матеріалів

Назва продукту	Жмутки після тіпання	Чесана стрічка	…	Готова тканина
	1	2	…	n
Волокна та жмутки до тіпання	$Y_1^1(Y_2^0,Y_3^0,Y_4^0,Y_5^0)$ $Y_2^1(Y_2^0, Y_4^0,Y_6^0)$ …….		…	
Жмутки після тіпання		$Y_1^2(Y_1^0,Y_2^0,Y_4^0,Y_1^1)$ $Y_2^2(Y_1^0,Y_2^0,Y_5^0Y_2^1)$ $Y_3^2(Y_1^0,Y_2^0,Y_1^1)$	… …	
……				
Сирова тканина			…	$Y_1^{19}(Y_1^0,Y_2^0,Y_4^0,Y_1^{17})$ $Y_2^{19}(Y_1^0,Y_2^0,Y_5^0Y_2^{17})$ ……

У подальшому для розробки програмного комплексу потрібно отримати фактичні математичні моделі властивостей текстильних матеріалів на кожному етапі їх перетворення та побудувати загальну математичну модель системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів. Для цього потрібно розробити:

- архітектуру програмного комплексу, оформленого у вигляді системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів;
- основні базові математичні моделі та їх складові частини;
- основні компоненти інтерфейсу користувача;
- алгоритм прийняття рішень;
- приклад застосування системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів для розв’язання конкретних завдань.

4.2. Розробка архітектури системи підтримки прийняття рішень

Програмний комплекс системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів (у подальшому СПВТМ) розроблено таким чином, що він забезпечує

можливість використання шести основних функцій для підтримки прийняття рішень з боку особи, що приймає рішення (ОПР):

1. *Моделювання процесу.* Використовуючи існуючі моделі реальних процесів (або створюючи нові), можна створювати підсистеми їх прогнозування і підсистеми синтезу оптимальних рішень на основі поточних даних (спостережень).

2. *Моделювання критеріїв*. За допомогою математичних методів знаходять математичний опис або правила для автоматичного об'єднання атрибутів, що характеризують різні варіанти рішень, які усувають когнітивні обмеження ОПР.

3. *Інформаційний менеджмент.* Для збереження, читання й обробки інформації, даних, знань використано сучасні комп'ютерні технології та гнучкий інтерфейс. Завдяки цьому значно розширюються можливості ОПР із прийняття рішень і обробки даних.

4. *Автоматизований і напівавтоматизований аналіз і логічний висновок.* Для часткової або повної автоматизації процесу логічного висновку використовуються методи штучного інтелекту і числові методи. Це дає можливість підвищити якість результату і зменшити час на розв’язання подібної задачі.

5. *Способи підтримки представлення результатів*. Для того щоб реалізувати функції доступу до інших СПВТМ, баз даних і знань, застосовуються засоби комп'ютерної графіки й інструментарій для обробки мов.

6. *Підвищення якості висновків*. З метою усунення систематичних помилок, що випливають з деяких кількісних евристичних роздумів людини, впроваджено статистичні й інші методи корекції результатів.

СПВТМ забезпечує можливість вибору конкретних обчислювальних процедур для реалізації кожної функцій моделювання та прогнозування

поведінки часового ряду за умови наявності групи експертів, що впливають на прийняття рішень.

Структурна схема запропонованої СПВТМ представлена на рис. 4.1, схема інформаційного забезпечення прогнозування властивостей текстильних матеріалів на *i*-му етапі – на рис. 4.2.

Інтерфейс користувача поєднує елементи природно-мовного та адаптивного інтерфейсу і дає можливість:

- прямого доступу до будь-яких аналітичних розрізів інформації, що зберігається в базі;
- швидко отримувати необхідну інформацію, що потрібна в поточний момент часу;
- зосереджуватися на тому, що треба одержати з бази, а не на тому, як це зробити;
- вчасно контролювати правильність занесення інформації в базу;
- доповнити інформаційну систему інтелектуальною технологією, що дозволить в остаточному підсумку скоротити витрати на її експлуатацію і підвищити ефективність роботи з нею в цілому.

Інтерфейс користувача поєднує елементи природно-мовного та адаптивного інтерфейсу і дає можливість:

- прямого доступу до будь-яких аналітичних розрізів інформації, що зберігається в базі;
- швидко отримувати необхідну інформацію, що потрібна в поточний момент часу;
- зосереджуватися на тому, що треба одержати з бази, а не на тому, як це зробити;
- вчасно контролювати правильність занесення інформації в базу;
- доповнити інформаційну систему інтелектуальною технологією, що дозволить в остаточному підсумку скоротити витрати на її експлуатацію і підвищити ефективність роботи з нею в цілому.

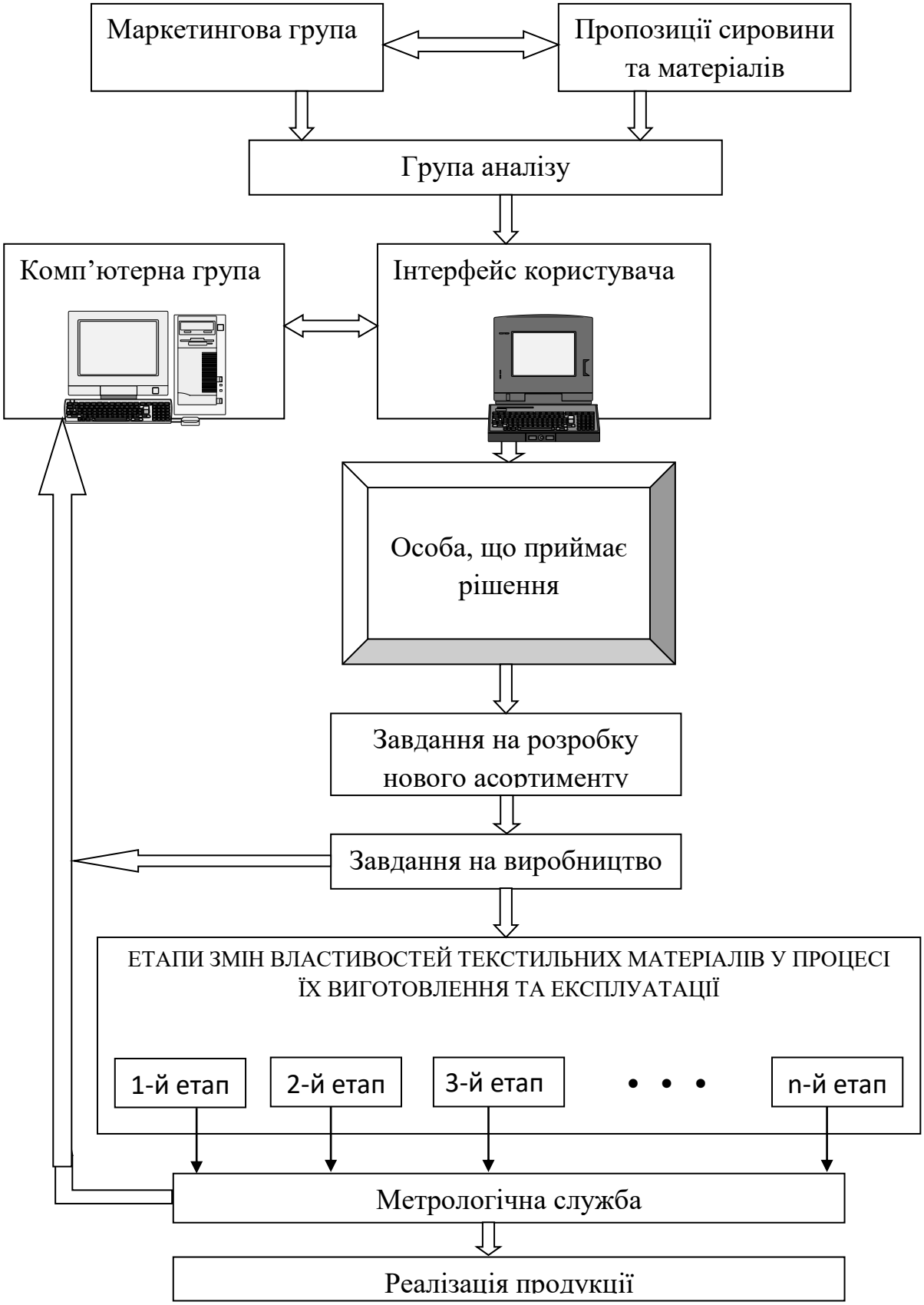


Рис. 4.1. Загальна схема інформаційного забезпечення системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів

.

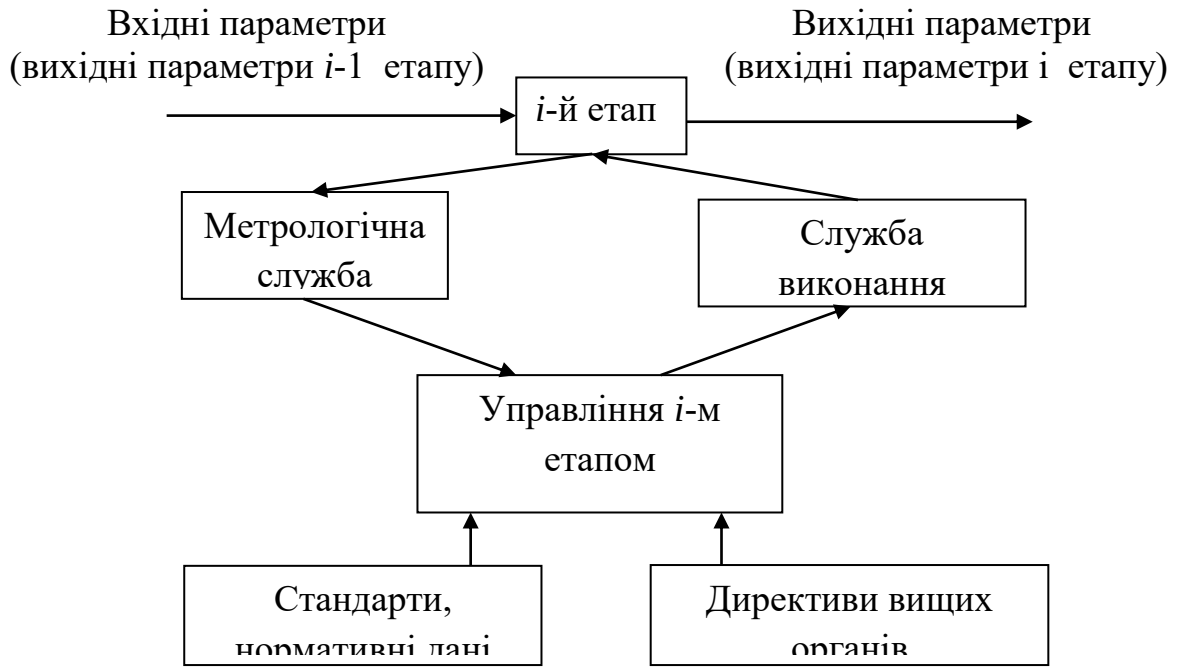


Рис. 4.2. Схема інформаційного забезпечення прогнозування властивостей текстильних матеріалів на і-му етапі

Програмне забезпечення інтерфейсного модуля забезпечує такі можливості:

- введення запитів до бази знань на внутрішній формальній мові системи;
- редагування запитів користувача;
- виконання запитів до бази експертних знань і вивід результатів на екран;
- перегляд проміжних результатів роботи;
- поповнення і коригування бази експертних знань у режимі діалогу;
- верифікація відповідей на запити.

Інтерфейс СПВТМ також відповідає загальним принципам побудови інформаційних систем, які можна сформулювати так:

1. Принцип відповідності призначення і структури інтерфейсу поставленим цілям і завданням. Типізація і універсальність можлива тільки в рамках визначених класів систем.

2. Принцип мінімізації витрат ресурсів користувача:

.

- користувач виконує тільки ту роботу, яка необхідна і не може бути виконана системою, не повторює уже виконаної роботи;
- користувач запам’ятовує якомога меншу кількість інформації, оскільки це збільшує його можливості приймати оперативні рішення в екстремальних випадках.

3. Принцип максимального взаєморозуміння та несуперечності. Робота з системою проста, і не викликає у користувача додаткових ускладнень у пошуках необхідних елементів інтерфейсу. Інформація, що отримується за допомогою інтерфейсу, не вимагає перекодування або додаткової інтерпретації користувачем.

4. Принцип незбитковості. Користувач вводить тільки мінімальну інформацію, а системою не допускається введення вже введеної раніше отриманої інформації.

5. Принцип безпосереднього доступу до системи підказок. Система забезпечує користувача необхідними інструкціями. Система контекстних підказок задовольняє три критерії:

- якість і кількість інформації про вибрані команди;
- повідомлення про характер помилки та можливі дії користувача з метою їх виправлення;
- наявність підтверджень дій, які виробляються системою.

6. Принцип гнучкості. Інтерфейс дозволяє спілкуватися з системою користувачам з різними рівнями підготовки. Для недосвідчених користувачів інтерфейс організовано як ієрархічна структура меню, а для досвідчених – з команд, комбінацій натиснень клавіш та параметрів командного рядка.

7. Принцип максимальної концентрації користувача на завдання, що розв’язується, і локалізації повідомлень про помилки. Інтерфейс допомагає концентрувати увагу користувача на конкретному завданні, що розв’язується.

8. Принцип легкості користування і простоти навчання. Інтерфейс не дратує користувача і не змушує до необдуманих дій. Також він враховує те, що користувач отримує досвід роботи з системою, цілі користувача змінюються в процесі роботи з системою. Інтерфейс характеризується простотою

виправлення помилок. Керуванню роботи з системою можна легко навчитись, система забезпечує навчання в процесі роботи за допомогою системи підказок.

9. Принцип надійності. Система надійна під кутом зору роботи користувача. Вона готова до роботи завжди, коли в цьому виникає потреба, збої трапляються рідко, час відповідей системи не перевищує встановлених меж. У системі реалізуються можливості захисту інформації та забезпечення необхідного ступеню секретності.

10. Принцип врахування людського фактору, а саме:

а) *користувач повинен завжди знати, що робити далі*. Тобто система надає йому інструкції щодо того, як продовжити роботу, створити резервний файл результатів, вийти із системи тощо. Існують кілька ситуацій, які вимагають зворотного зв'язку від системи (пояснення для користувача);

– *користувач повинен знати, чого система чекає від нього*. Це зроблено у вигляді простого повідомлення, такого як ГОТОВО, ВВЕДІТЬ КОМАНДУ, ЗДІЙСНІТЬ ВИБІР або ВВЕДІТЬ ДАНІ;

– *користувач повинен знати, що введено некоректні дані*. Наприклад виводиться повідомлення ДАНІ КОРЕКТНІ або ВВІД ЗАВЕРШЕНО;

– *користувач повинен знати, що дані не були введені коректно*. Система дає просте коротке повідомлення щодо необхідного формату даних. Більш докладні рекомендації щодо можливих форматів даних надаються за допомогою функції ДОПОМОГА;

– *якщо має місце затримка з обчисленнями, то користувач повинен про це знати*. Для виконання деяких видів обчислень (наприклад, при виконанні оптимізаційних розрахунків) необхідно витрачати кілька десятків секунд або навіть хвилин. У такому випадку система дає короткі повідомлення, наприклад: ПОШУК ОПТИМУМУ – БУДЬ-ЛАСКА, ЗАЧЕКАЙТЕ або СОРТУВАННЯ – ЦЯ ОПЕРАЦІЯ МОЖЕ ТРИВАТИ КІЛЬКА ХВИЛИН, БУДЬ-ЛАСКА, ЗАЧЕКАЙТЕ. Це дає можливість користувачеві бути впевненим, що система продовжує працювати;

– *користувач повинен знати, що система завершила (не завершила) виконання завдання*. Це важливо завжди, але особливо важливо у тих випадках, коли обчислення можуть тривати відносно довго. Повідомлення мають такий характер: ДРУК ЗАВЕРШЕНО або ПРИНТЕР НЕ ГОТОВИЙ – ПЕРЕВІРТЕ НАЯВНІСТЬ КАРТРИДЖУ;

б) *форматування екрану монітора необхідно робити таким чином, щоб різні типи інформації, команди, повідомлення завжди з'являлись в одній і тій же частині екрану*.

Тобто при форматуванні екрану користувач завжди знає, де шукати необхідну інформацію. Наприклад, екран можна розділити на такі зони:

– *вікно з назвою (титулом) сторінки на екрані*. Титул (назва) необхідні для ідентифікації вікна конкретного типу під кутом зору користувача;

– *вікно з прапорцями*. Це вікно містить вказівник (вказівники) на інші конкретні вікна екрану з метою показати, що виникла помилка чи проблема з виконанням завдання. Наприклад, якщо користувач зробив помилку при введенні команди чи даних, то у вікні з прапорцями з'явиться повідомлення "…", яке показує, в якому рядку чи полі має місце помилка. Для того щоб взнати конкретну причину чи суть помилки, користувач повинен подивитись у вікно повідомлень. У деяких випадках замість вікна з прапорцями використані такі атрибути, як *блимання* або *інверсне зображення*;

– *вікно повідомлень*. У це вікно система посилає повідомлення для користувача. Наприклад, повідомлення про помилки або пропозиції щодо продовження обчислень, ведення діалогу;

– *вікно виходу*. Воно призначене для того щоб користувач міг завершити поточний сеанс роботи з системою або підсистемою. Наприклад, вікно виходу містить інформацію щодо того, як повернутись до головного меню системи або до попереднього меню опцій (вибору);.

– *операційне вікно*. Операційне вікно – найбільше вікно діалогу. Ця зона використовується для введення даних, виведення результатів роботи, виведення пояснювальних повідомлень з допомогою ведення діалогу з системою, висвітлення опцій меню та ін.

Комп'ютерна група містить у своєму складі такі системи:

- мовну систему;
- системи обробки даних та генерації результатів (в подальшому СОДГР);
- базу даних;
- базу знань;
- систему представлення результатів.

Мовна система формує запити, необхідні для організації діалогу користувач–система. Основними запитами мовної системи є:

– запити на модифікацію та доповнення бази даних і знань;

– ведення нових алгоритмів оцінювання параметрів математичних моделей;

– розширення системи за рахунок нових алгоритмів моделювання та прогнозування;

– запити на формування конкретних процедур обробки даних та прогнозування (формулювання вимог);

– запити на вибір та формулювання критеріїв розв'язку завдань;

– запити на виконання завдань моделювання і прогнозування;

– запити на форму представлення результатів;

– запит на ретроспективний аналіз розв'язування подібних завдань;

– перевірка запитів на коректність та генерація підказок користувачеві;

– запит щодо поточного стану системи.

Системи обробки даних та генерації результатів є головною системою (ядром) СПВТМ під кутом зору її основного призначення – підтримки прийняття рішень при розв'язку завдань.

СОДГР приймає коректні запити від мовної системи і виконує такі дії (які задаються запитами):

– поповнює (за потреби) базу даних і знань;

– вибирає алгоритм (чи алгоритми) обробки даних з бази даних і знань;

– застосовує вибраний алгоритм до даних, що містяться в базі даних, з метою побудови математичної моделі як для кожного етапу зміни властивостей текстильного матеріалу, так і до процесу в цілому, обчислення прогнозу або виконання інших функцій СПВТМ;

– використовує критерії адекватності моделі з метою визначення ступеня адекватності побудованих моделей;

– застосовує критерії якості прогнозу для визначення кращого прогнозованого значення параметрів текстильних матеріалів;

– за потреби реалізує функцію ретроспективного аналізу результатів з метою порівняння останнього отриманого результату з результатами, які були отримані раніше; таке порівняння дає можливість визначити існування подібних ситуацій у минулому і теперішньому часі;

– передає отримані результати обчислень у систему подання результатів, яка представляє отриманий результат у формі, заданій користувачем;

– зберігає за потреби, частину отриманих результатів у короткостроковій пам'яті для подальшого використання в поточній сесії застосування СПВТМ.

СОДГР містить всі обчислювальні алгоритми та алгоритми прийому/передачі даних, які можуть використовуватись у процесі підтримки прийняття рішень.

СПВТМ містить такі алгоритми:

– алгоритми попередньої обробки даних (нормування, фільтрація, заповнення пропусків, обробка великих імпульсних значень);

– оцінювання параметрів (коефіцієнтів) математичних та/або статистичних моделей;

– алгоритми обчислення статистичних параметрів, які характеризують якість (адекватність) побудованої моделі;

– алгоритми обчислення прогнозованих значень параметрів текстильних матеріалів;

– алгоритми обчислення показників якості прогнозів;

– алгоритми вибору кращої моделі та кращого прогнозу на основі розрахованих показників адекватності моделі та якості прогнозу;

– алгоритми формування бази результатів для проведення ретроспективного аналізу;

– алгоритми поповнення бази даних і знань.

База даних призначена для зберігання таких елементів:

– результати активних експериментів попередніх періодів часу;

– тип джерела інформації та формати даних;

– результати метрологічних вимірювань кожного етапу перетворення властивостей текстильних матеріалів;

– результати попередніх прогнозів, якщо такі були;

– коефіцієнти (параметри) математичних моделей;

– державні та галузеві стандарти;

– директиви вищих органів;

– інформаційно-довідкові матеріали.

База знань містить:

– типи математичних моделей;

– алгоритми оцінювання параметрів моделей;

– алгоритми прогнозування;

– критерії оцінювання якості прогнозу.

Система представлення результатів приймає результати обробки даних та знань від системи обробки даних та генерації результатів і надає їх користувачеві в зручній для сприйняття формі.

Можливі форми представлення результатів роботи СОДГР:

– гістограми, графічне зображення функцій розподілу ймовірностей отриманих величин;

– графічне представлення результатів у вигляді двовимірних та тривимірних графіків;

– застосування ліній різних типів для різних змінних на графіках;

– одночасне зображення поточних результатів роботи СПВТМ та результатів, отриманих раніше, – *ретроспективне порівняння* результатів;

– представлення результатів параметрів текстильних матеріалів у вигляді таблиць зручного формату;

– поєднання тексту з цифровим матеріалом, таблицями і графіками;

– кругові та стовпчикові діаграми;

– тривимірні стовпчикові діаграми;

– використання можливостей гортання сторінок (*пейджинг*) та переміщення змісту екрану на один рядок за допомогою функції (*скролінг*).

У проекті СПВТМ автор описав окремо спеціальні способи представлення інформації, які сприяють прискоренню та поглибленню її сприйняття. Деякі з них розглянемо нижче.

Кольори використовують для таких цілей:

– “підняття” конкретних повідомлень;

– для зображення кластерів даних;

– виділення цифрових даних, графіків або зон екрану.

У СПВТМ використано сучасні можливості моніторів, які забезпечують можливості використання досить широкого набору відео- та аудіоатрибутів, наприклад таких:

– подвійна яскравість вибраних полів екрану або окремих повідомлень;

– блимання вибраних полів або повідомлень;

– приховування відображення вибраних полів;

– інверсне відображення вибраних полів, повідомлень або зон екрану.

Клавіатура містить досить широкий набір функціональних клавіш (F1, …, F12), Alt, Esc та інші. Ці клавіші використовуються для ініціалізації виконання деяких загальних операцій, які повторюються в процесі взаємодії з СПВТМ. Наприклад, START, HELP, PAGE UP, PAGE DOWN, EXIT. Обов’язковим є використання клавіші F1 для реалізації функції отримання контекстної допомоги. Одні й ті ж функціональні клавіші використовуються з однією метою.

Поєднання вказаних атрибутів дозволяє суттєво підвищити швидкість сприйняття та глибину розуміння результатів роботи СПВТМ, прискорити процеси вводу/виводу даних.

4.3. Побудова інтерфейсу системи обробки даних

Меню інтерфейсу складається з таких пунктів:

- Файл
  - створити новий проект
  - відкрити проект
  - закрити проект
  - зберегти
  - зберегти як
  - дані (імпорт або експорт)
  - параметри друку
  - друкувати
  - вихід
- Редагування
  - додати дані
  - корегувати дані
  - нормування
  - фільтрація
  - архівація даних
  - заповнення пропусків
  - обробка адитивних імпульсних значень
- Моделювання та прогнозування
  - значень кінцевого продукту
  - проміжних етапів
  - тестове моделювання
  - виконати прогнозування
  - виконати моделювання та прогнозування
- Виконати
  - Виконати
  - Перервати виконання
  - Завершити виконання

- Показати
  - Вхідні параметри
  - параметри моделювання
  - результат прогнозування
  - статистичні параметри моделі
  - статистичні параметри прогнозу
- Сервіс
  - сировинний склад (чистововняна або напіввовняна)
  - додати/вилучити (модель; метод прогнозування або статистичний критерій)
  - параметри, що встановлюються по замовчуванню
- Допомога
  - про програмний комплекс
  - F1 – контекстна допомога
  - математичні моделі часових рядів
  - методи прогнозування (статистичні критерії)

Пункт меню «Файл» передбачає стандартний набір можливостей для роботи з проектом, а також можливість виходу з системи.

У пункті меню «Редагування» користувачеві надається можливість обробки вхідних даних та збереження результату обробки під ім’ям, що відрізняється від імені вхідного файлу.

Пункт меню «Моделювання та прогнозування» є основним під кутом зору ідеології побудови програмного комплексу. Тут користувачеві надається можливість обрати, який процес збираємось моделювати та прогнозувати. Система надає користувачеві можливість самостійно обрати модель та спосіб прогнозування на основі результатів роботи підпункту меню «тестове випробування», в результаті виконання якого користувачеві надається можливість порівняти результати різних способів прогнозування, як наочно (за допомогою графіків), та і порівнявши статистичні характеристики отриманих прогнозів. Результати прогнозування порівнюються з відомими значеннями

параметрів текстильних матеріалів, отриманих у результаті пасивного експерименту.

За допомогою пункту меню «Показати» система надає можливість перегляду результатів моделювання та прогнозування в різних розрізах.

Пункт меню «Сервіс» забезпечує можливість додавати або вилучати математичні моделі, методи прогнозування та статистичні параметри задіяні в системі разом з файлами контекстної допомоги. Також тут можна задати параметри системи, що використовуються по замовчуванню, а саме: джерело даних, формати їх представлення, точність обчислення та ін.

«Допомога» надає можливість користувачеві в будь-який момент часу отримати інформацію як про систему в цілому, так і про кожен параметр меню або вікна діалогу.

Вибір більшості пунктів меню передбачає уточнення за допомогою діалогових вікон. Наприклад, при виборі «Редагування» $\Rightarrow$ «ввести дані», послідовно з'являються вікна, які представляють у зручному вигляді параметри для ручного введення їх значень. Вид вікон представлено на рис. 4.3.- 4.7.

4.4 Метод підвищення якості статистичних обчислень та висновків

Для підвищення якості висновків при статистичних обчисленнях та для згладжування адитивних значень у СПВТМ реалізовано метод визначення та обробки екстремальних значень експериментальних даних властивостей текстильних матеріалів. Обробка екстремальних значень ґрунтується на такому перетворенні:

$$y = Me \cdot a^{u_p v}, \qquad (4.1)$$

де y – обчислене значення випадкової змінної; Me – медіана вибірки даних; v – вибірковий коефіцієнт варіації; u_p – квантиль стандартного нормального розподілу; a – основа перетворення.

Рис. 4.3. Перше вікно редагування даних вхідних параметрів чистововняної сировини

Рис. 4.4. Перше вікно редагування даних вхідних параметрів напіввовняної сировини

Рис. 4.5. Друге вікно редагування даних вхідних параметрів чистововняної сировини

Рис. 4.6. Друге вікно редагування даних вхідних параметрів напіввовняної сировини

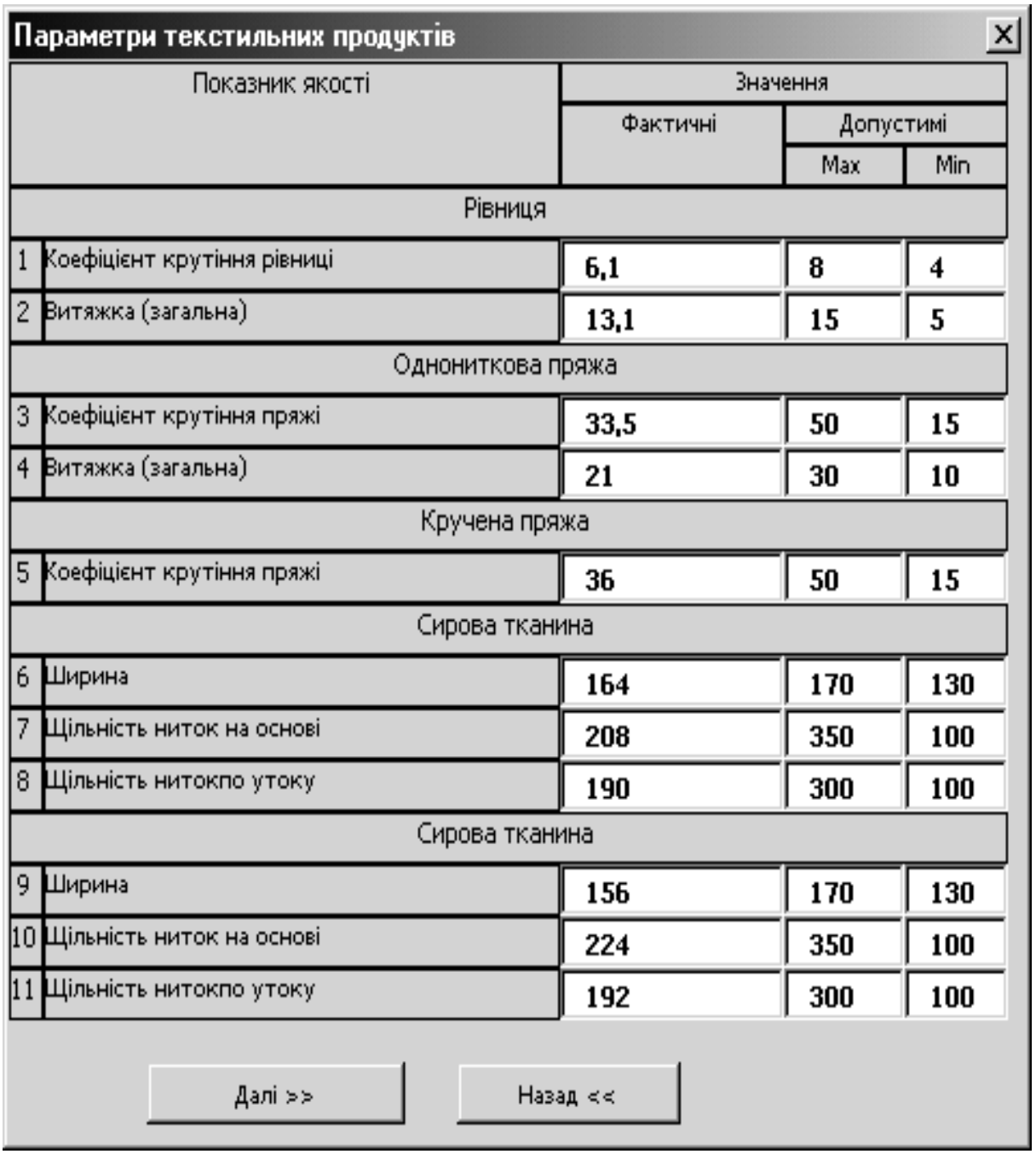


Рис.4.7. Останнє вікно редагування даних вхідних параметрів

Результати прогнозування досліджуваних показників властивостей (параметрів) текстильних матеріалів наведено на рис. 4.8. - 4.9.

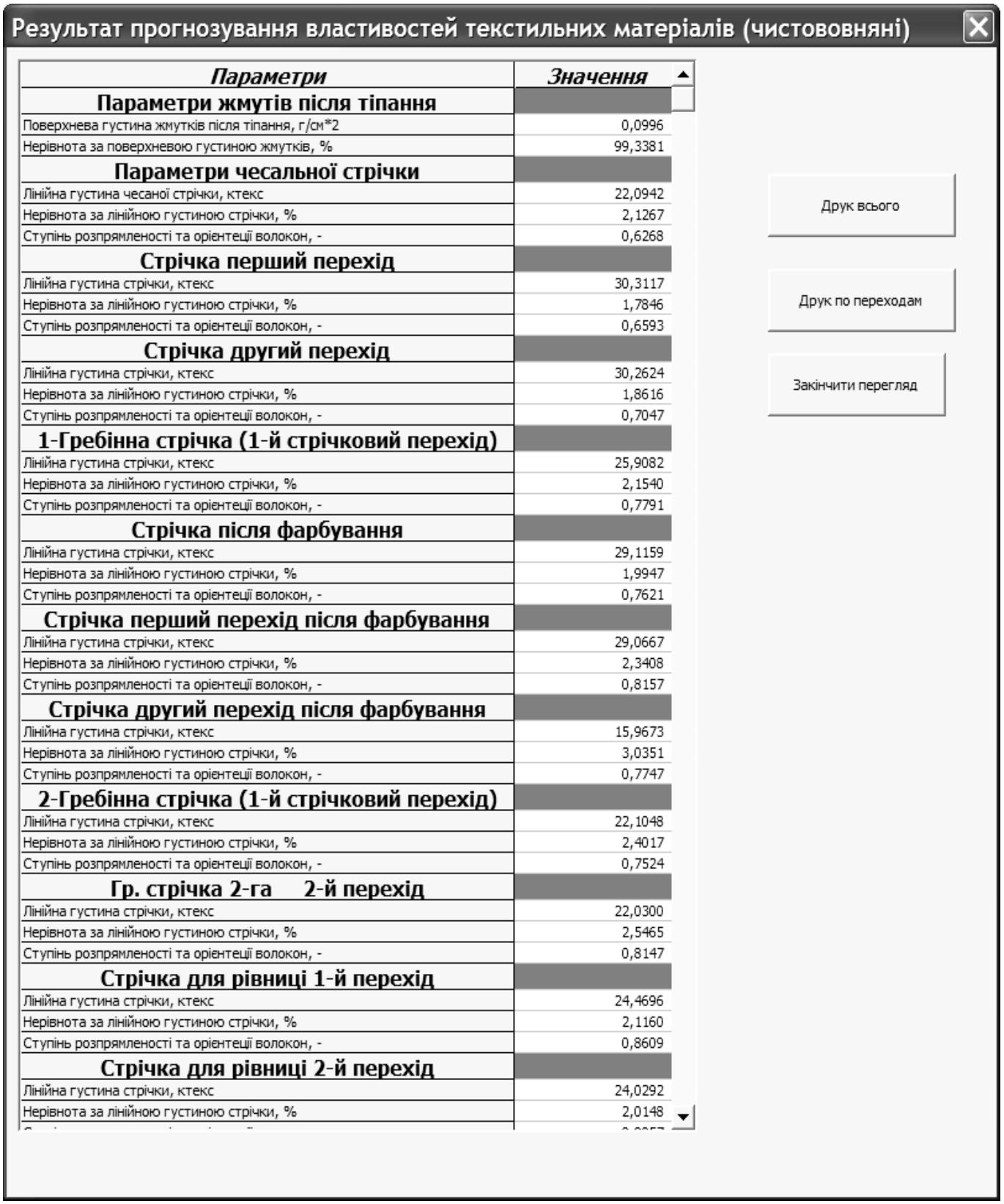


Рис. 4.8. Результати прогнозування параметрів чистововняних текстильних матеріалів

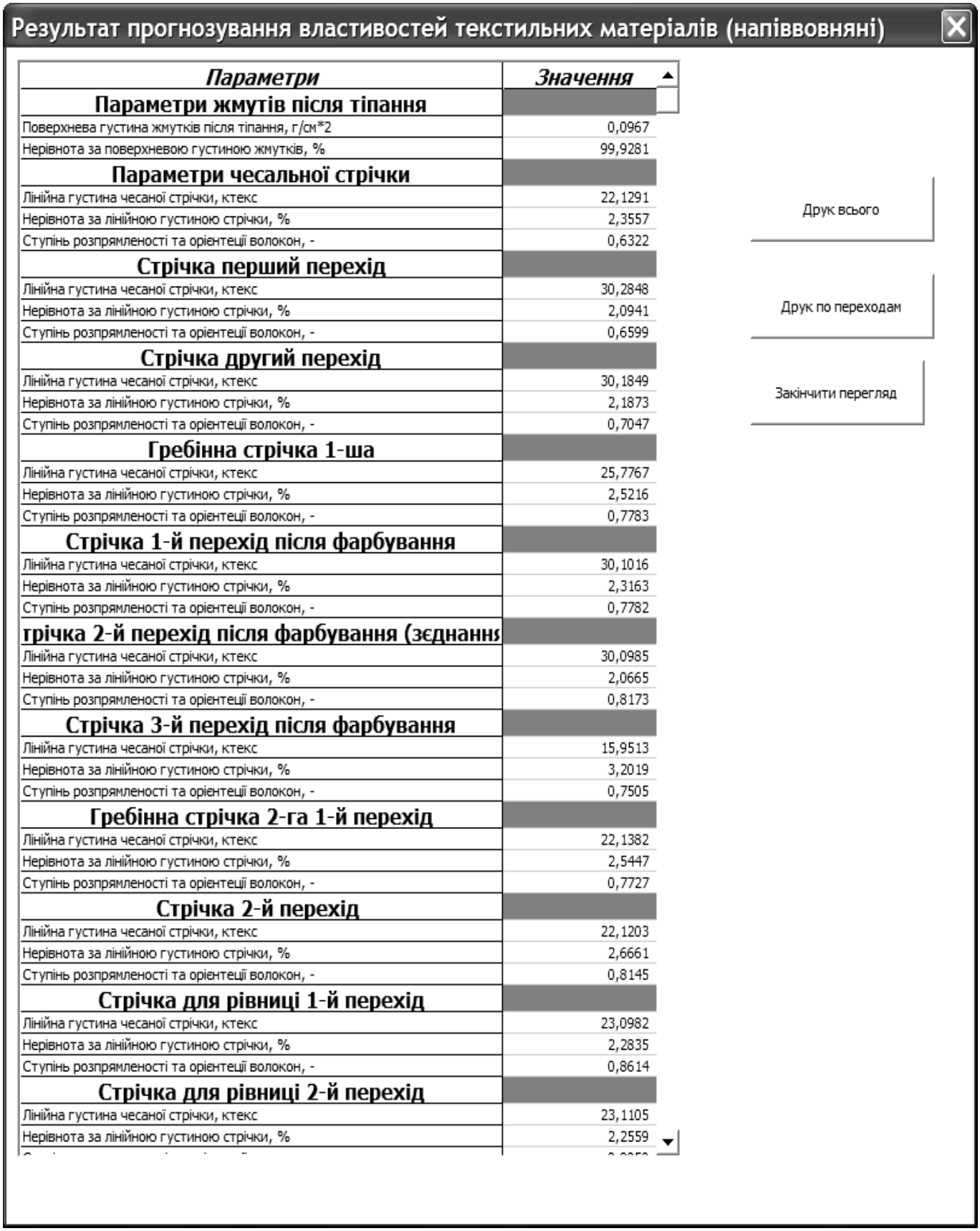


Рис. 4.9. Результати прогнозування параметрів напіввовняних текстильних матеріалів

Для обчислення критичного значення y_{crit} необхідно визначити критичний квантиль за допомогою таблиць інтегралу ймовірності:

$$\Phi(u)=\frac{1}{2\pi}\int_0^u e^{-t^2/2}dt=\frac{1}{2}erf\left(\frac{u}{\sqrt{2}}\right)=\Phi_u(u)-\frac{1}{2}. \qquad (4.2)$$

За методом максимальної правдоподібності визначаємо нижній і верхній базис:

$$\ln a=\frac{\sum_i(\ln x_i/Me)}{v\sum u_p^i},\ i=1,2,...,k; \qquad (4.3)$$

$$\ln b=\frac{\sum_i(\ln x_i/Me)}{v\sum u_p^i},\ i=n-k,...,n. \qquad (4.4)$$

Емпірично встановлено [153, 154], що раціональне число значень, використаних для апроксимації хвостів розподілу, можна знайти так:

$$k=(1.5\div1.75)\sqrt[3]{n}, \qquad (4.5)$$

де n – довжина вибірки.

Приклад. $n=16$: y = {0,32; 0,35; 0,37; 0,38; 0,39; 0,44; 0,45; 0,46; 0,47; 0,48; 0,52; 0,53; 0,57; 0,74; 0,74; 1,09}.

Медіана і коефіцієнт варіації: $Me=0{,}465$, $v=0{,}376$. Кандидат на екстремальне значення: 1,09.

Емпірична ймовірність для кожного елемента ранжованої вибірки:

$$p_i=\frac{m}{n+1},\quad i=1,...,16;\ \ n=16, \qquad (4.6)$$

m – порядковий номер елемента у вибірці. Апроксимуємо верхній хвіст вибірки за трьома точками, використовуючи (4.6) і таблиці інтегралу ймовірності:

$$\frac{16}{17} = 0{,}941, \quad p = 0{,}941 - 0.5 = 0{,}441, \; u_p = 1{,}56;$$

$$\frac{15}{17} = 0{,}882, \quad p = 0{,}882 - 0.5 = 0{,}382, \; u_p = 1{,}18;$$

$$\frac{14}{17} = 0{,}826, \quad p = 0{,}826 - 0.5 = 0{,}326, \; u_p = 0{,}93;$$

$$\frac{13}{17} = 0{,}765, \quad p = 0{,}765 - 0.5 = 0{,}265, \; u_p = 0{,}72.$$

Суми логарифмів в (4.4) для цих трьох значень: (0,57/0,465), (0,74/0,465), (0,74/0,465), і $\sum_{i=1}^{3} \ln x_i / Me = 0{,}204 + 0{,}464 + 0{,}464 = 1{,}132.$ Сума для квантилів: $v\sum_{i=1}^{3} u_{pi} = 0{,}376(1{,}18 + 0{,}93 + 0{,}72) = 1{,}064$. Таким чином, основа: $\ln b = 1{,}132 / 1{,}064 = 1{,}064$, а звідси $b = 2{,}90$.

Вираз, що апроксимує верхній хвіст вибірки:

$$y = 0{,}465 \cdot 2{,}90^{0.376 u_p}. \qquad (4.7)$$

Критичне значення за виразом (4.7) та критерієм Шовене: $p = 32/33 - 0{,}5 = 0{,}470$ і $u_p = 1{,}88$: $y_{crit} = 0{,}465 \cdot 2{,}90^{0.376 \cdot 1.88} = 0{,}465 \cdot 2{,}9^{0.707} = 0{,}987$.

Оскільки $1{,}09 > 0{,}987$ (значення $y = 1{,}09$ – кандидат на екстремальне значення при $u_p = 1{,}56$), то: $y_{corr} = 0{,}465 \cdot 2{,}50^{0.376 \cdot 1.56} = 0{,}465 \cdot 2{,}90^{0.587} = 0{,}869$. Тобто для забезпечення коректності статистичної обробки даних значення 1,09 замінюємо на 0,869.

Метод виявлення та корекції екстремальних значень:

1. Ранжирувати вибірку у порядку зростання, знайти медіану та коефіцієнт варіації.
2. Обчислити ймовірності для всіх елементів, які використовуються для апроксимації хвостів і визначити квантилі u_p за допомогою таблиць інтегралу ймовірностей.
3. Визначити раціональне число спостережень, необхідних для апроксимації, за виразом (4.5).

4. Встановити кандидатів на екстремальні значення і виключити їх з процедури апроксимації хвостів.

5. Обчислити: $\sum u_{pi}$, $v \sum \ln x_i / Me$, $\ln a, \ln b$ та a, b.

6. Обчислити ймовірності за критерієм Шовене: $p_{2n+1} = 1/(2n+1)$; квантиль $u_{p,(2n+1)}$ і критичне значення.

7. Обчислити скориговане екстремальне значення.

Перевагою запропонованого методу є простота і можливість застосування для дослідження властивостей та виробничих процесів широкого класу. Це дозволяє підвищити якість статистичних обчислень та висновків, які ґрунтуються на них.

4.5. Алгоритм прийняття рішень у системі прогнозування властивостей текстильних матеріалів

Запропонована СПВТМ дає можливість використовувати такі функції для підтримки прийняття рішень з боку ОПР:

1. *Аналіз ринку* потреб текстильних матеріалів з заданими характеристиками, пропозиції сировини та матеріалів. Формулювання рекомендацій параметрів похідної сировини.

2. *Моделювання процесу змін властивостей текстильних матеріалів.* Використовуючи існуючі моделі реальних процесів (або створюючи нові), створено підсистеми прогнозування їх протікання і підсистеми синтезу оптимальних рішень на основі поточних даних (спостережень).

3. *Моделювання критеріїв*. За допомогою математичних методів знаходимо математичний опис або правила для автоматичного об'єднання атрибутів, які характеризують різні варіанти рішень, що знімає когнітивні обмеження ОПР.

4. *Інформаційний менеджмент.* Для збереження, читання й обробки інформації, даних, знань використовують сучасні комп'ютерні

технології. Завдяки цьому значно розширюються можливості ОПР із прийняття рішень і обробки даних.

5. *Автоматизований і напівавтоматизований аналіз і логічний висновок.* Для часткової або повної автоматизації процесу логічного висновку використовуються методи штучного інтелекту і числові методи. Це дає можливість підвищити якість результату і зменшити час на розв’язок подібної задачі.

6. *Способи підтримки представлення результатів*. Для того щоб реалізувати функції доступу до інших СПВТМ, баз даних і знань, застосовуються засоби комп'ютерної графіки й інструментарій для обробки мов.

7. *Підвищення якості висновків*. З метою усунення систематичних помилок, що випливають з деяких кількісних евристичних міркувань людини, впроваджено статистичні методи корекції результатів.

8. *Вибір конкретних обчислювальних процедур* для реалізації кожної функції СПВТМ у рамках зовнішніх і когнітивних обмежень, що впливають на прийняття рішень.

Основним інструментом категоризації технологічної бази СПВТМ, що, у свою чергу, базується на функціях і потребах замовника, є шість видів математичного інструментарію, які використовувались при проектуванні і реалізації СПВТМ. Це такі види:

– математичні моделі реальних процесів, для управління або контролю яких створено СПВТМ;
– моделі вибору можливих альтернатив при пошуку рішення;
– інструментарій для інформаційного менеджменту;
– методи автоматизованого аналізу/логічного висновку;
– методи й інструментарій для представлення результатів;
– методи реалізації і підвищення якості суджень.

Кожна категорія складається з ряду конкретних методів, які використані в системі прогнозування властивостей текстильних матеріалів з метою реалізації функцій підтримки. Організація методів у межах кожної категорії базується на специфічних рисах або вимірах, що визначають ступінь їх продуктивності в конкретному випадку. Класифікація, що представлена на рис. 4.10, не тільки дає перелік можливих методів, а й підкреслює ті конкретні риси проблеми з прийняття рішень, які розглянуті при виборі конкретного методу для його реалізації в рамках СПВТМ.

На рис. 4.10 визначено перелік наявних технологій для реалізації кожної бажаної функції СПВТМ, але не визначено методики вибору конкретного методу або засобу порівняння з іншими. Для цього існує ще один інструмент - набір правил, що дозволяють реалізувати конкретні функції СПВТМ. Ці правила базуються на даних, що характеризують ситуацію з ухвалення рішення і збираються шляхом декомпозиції/опису конкретної ситуації.

На етапі вибору методів кожна потреба в підтримці ухвалення рішення узгоджується з конкретним методом. Процес узгодження підбору методів виконується для кожного конкретного набору даних.

Оскільки категорії, що використовуються для визначення конкретних потреб підтримки, пов'язані з характеристиками методів для підтримки рішень, то досить скористатися одною характеристикою для кожної з потреб підтримки.

Таким чином, для реалізації в рамках СПВТМ вибирається технологія на основі застосування методів структуризації проблем, попередньої обробки даних, математичних і статистичних моделей процесів, множини методів оцінювання моделей і множини критеріїв визначення якості прогнозів.

Застосування зазначеного алгоритму прийняття рішень в СПВТМ гарантує отримання високої якості прогнозів зміни властивостей текстильних матеріалів та управлінських рішень, які на них ґрунтуються.

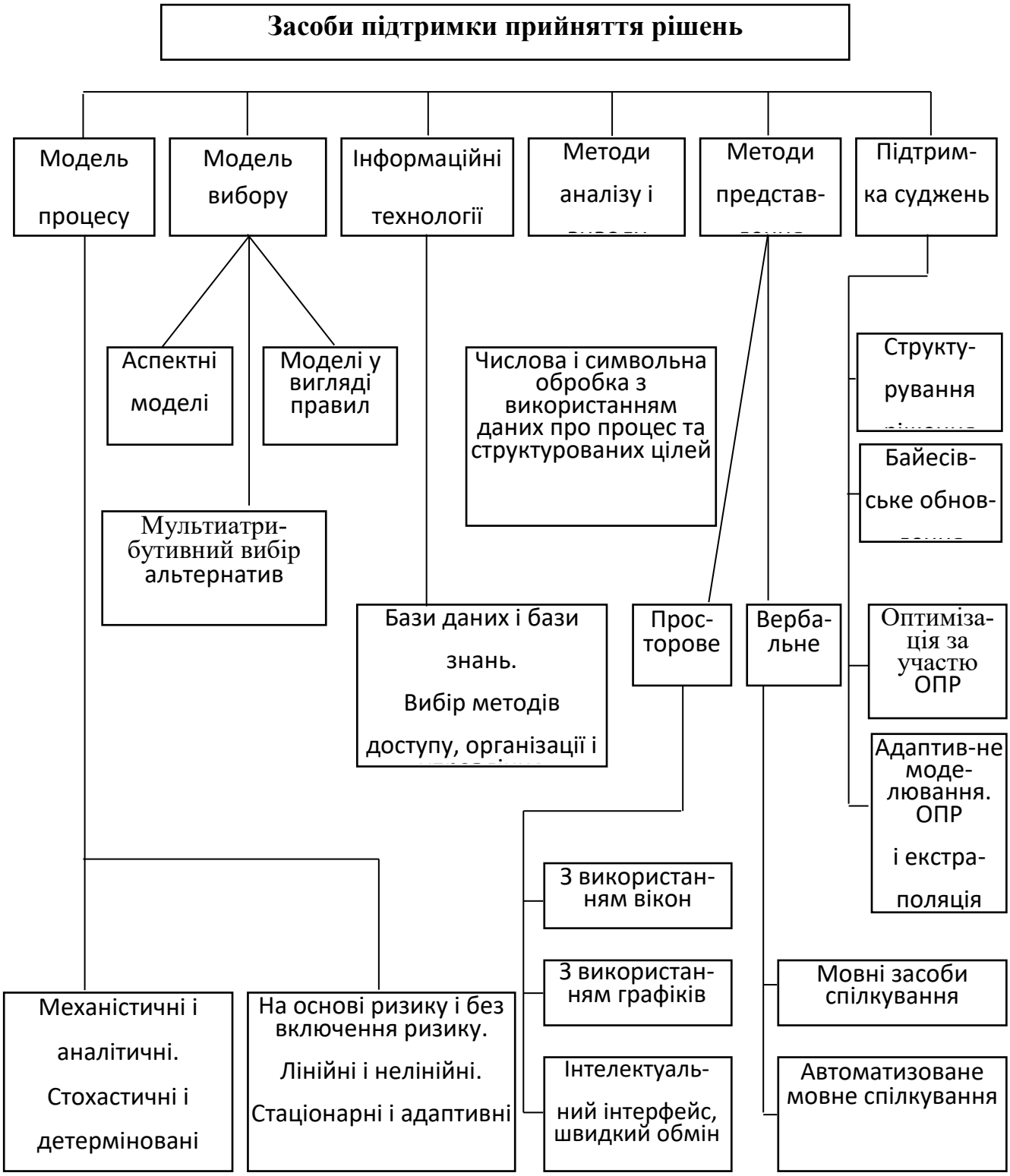


Рис. 4.10. Класифікація засобів підтримки прийняття рішень

4.6. Аналіз результатів застосування програмного комплексу системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів

Наведемо приклад застосування створеної СПВТМ для ідентифікації та прогнозування властивостей текстильних матеріалів. Дані взяті на діючому підприємстві ЗАТ „КСК «ЧЕКСІЛ” м. Чернігів.

Вхідними даними для перевірки роботи СПВТМ для отримання чистововняної камвольної тканини взяті значення первинних волокнистих продуктів, наведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Параметри вхідних волокнистих продуктів для чистововняної тканини

Параметри продукту	Одиниці вимірювання
Довжина волокна	мм
Діаметр (тонина) волокна	мкм
Питоме розривальне навантаження волокна	сН/текс
Лінійна густина волокна	текс
Поверхнева густина жмутків до тіпання	мг/мм²
Коефіцієнт варіації за поверхневою густиною жмутків до тіпання	%

Також для роботи системи в базі даних нагромаджені спостереження за змінами властивостей текстильних матеріалів на кожному етапі перетворення, отримані метрологічним відділком підприємства протягом 2006-2009 років (додаток А).

У результаті роботи СПВТМ отримано прогноз параметрів перетворення властивостей текстильних продуктів на кожному етапі виробництва чистововняної тканини, представлений у табл.4.8.

Таблиця 4.8

Прогноз значень параметрів продуктів для чистововняної тканини

Етапи перетворення та параметри властивостей текстильних матеріалів	Розрахункове значення
Жмутки після тіпання	
Поверхнева густина жмутків після тіпання, г/см²	0,0995
Нерівнота за поверхневою густиною жмутків, %	99,3
Чесана стрічка	
Лінійна густина чесаної стрічки, ктекс	22,09
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,1
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,626
Стрічка перший перехід	
Лінійна густина стрічки, ктекс	30,3
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	1,7
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,659
Стрічка другий перехід	
Лінійна густина стрічки, ктекс	30,2
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	1,8
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,704
1-Гребінна стрічка (1-й стрічковий перехід)	
Лінійна густина стрічки, ктекс	25,9
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,1
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,779
Стрічка після фарбування	
Лінійна густина стрічки, ктекс	29,1
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	1,9
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,762
Стрічка після фарбування (1-й перехід)	
Лінійна густина стрічки, ктекс	29,1
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,3
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,815
Стрічка після фарбування (2-й перехід)	
Лінійна густина стрічки, ктекс	15,9
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	3,0
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,774
2-Гребінна стрічка (1-й перехід)	
Лінійна густина стрічки, ктекс	22,1
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,4
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,752
Гребінна стрічка (2-й перехід)	
Лінійна густина стрічки, ктекс	22,0
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,5

Продовження табл. 4.8.

Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,814
Стрічка для рівниці, 1-й перехід	
Лінійна густина стрічки, ктекс	24,4
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,1
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,860
Стрічка для рівниці, 2-й перехід	
Лінійна густина стрічки, ктекс	24,0
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,0
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,905
Стрічка для рівниці, 3-й перехід	
Лінійна густина стрічки, ктекс	12,0
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	3,8
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,929
Стрічка для рівниці, 4-й перехід	
Лінійна густина стрічки, ктекс	5,9
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	6,8
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,969
Рівниця	
Лінійна густина рівниці, ктекс	0,450
Нерівнота за лінійною густиною рівниці, %	1,2
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,954
Відносне розривальне навантаження рівниці, сН/текс	8,1
Коефіцієнт варіації за крутінням рівниці, %	2,9
Одиночна пряжа	
Лінійна густина одноніткової пряжі, текс	21,5
Нерівнота за лінійною густиною одноніткової пряжі, %	2,2
Відносне розривальне навантаження пряжі, сН/текс	53,1
Коефіцієнт варіації за крутінням одноніткової пряжі, %	2,4
Видовження при розриванні одноніткової пряжі, %	6,7
Кручена пряжа	
Лінійна густина крученої пряжі, текс	42,4
Нерівнота за лінійною густиною крученої пряжі, %	1,3
Відносне розривальне навантаження крученої пряжі, сН/текс	52,2
Видовження при розриванні крученої пряжі, %	9,8
Коефіцієнт витривалості, %	94,3
Коефіцієнт варіації за крутінням крученої пряжі, %	8,3
Сирова тканина	
Поверхнева густина сирової тканини, г/м²	211,2
Лінійна густина сирової тканини, г/м	346,6
Розривальне навантаження сирової тканини по основі, Н	362,2
Розривальне навантаження сирової тканини по утоку, Н	291,9
Розривальне видовження сирової тканини по основі, мм	34,4

	Закінчення табл. 4.8.
Розривальне видовження сирової тканини по утоку, мм	31,2
Водопроникність, дм³/(м²·с)	
Готова тканина	
Поверхнева густина готової тканини, г/м²	215,3
Лінійна густина готової тканини, г/м	335,8
Розривальне навантаження готової тканини по основі, Н	358,0
Розривальне навантаження готової тканини по утоку, Н	275,6
Розривальне видовження готової тканини по основі, мм	31,4
Розривальне видовження готової тканини по утоку, мм	28,3
Зміна лінійних розмірів тканини по основі, %	2,0
Зміна лінійних розмірів тканини по утоку, %	1,7
Питома пористість, м²/г	48,0
Повітропроникність, дм³/(м²·с)	56,1
Коефіцієнт зминальності тканини, %	0,27
Стійкість до тертя тканини, цикли	5922,5
Пілінгування тканини, пілі/см²	2,1

Вхідними даними для перевірки роботи СПВТМ для отримання напіввовняної камвольної тканини взяті значення первинних волокнистих продуктів, наведені в табл.4.9.

Таблиця 4.9

Вхідні параметри волокнистих продуктів для напіввовняної тканини

Параметри продукту	Одиниці вимірювання
Довжина волокна вовни	мм
Довжина хімічного волокна	мм
Діаметр (тонина) волокна вовни	мкм
Діаметр (тонина) хімічного волокна	мкм
Питоме розривальне навантаження волокна вовни	сН/текс
Питоме розривальне навантаження хім. волокна	сН/текс
Лінійна густина волокна	текс
Лінійна густина хімічного волокна	текс
Вміст хімічного волокна	%
Поверхнева густина жмутків до тіпання	мг/мм²
Коефіцієнт варіації за поверхневою густиною жмутків до тіпання	%

У табл. 4.10 представлено прогноз параметрів перетворення властивостей текстильних продуктів на кожному етапі виробництва напіввовняної тканини.

Таблиця 4.10

Прогноз значень параметрів текстильних матеріалів напіввовняної пряжі

Етапи перетворення та параметри властивостей текстильних матеріалів	Розрахункове значення
Жмутки після тіпання	
Поверхнева густина жмутків після тіпання, г/см²	0,096
Нерівнота за поверхневою густиною жмутків, %	99,9
Чесана стрічка	
Лінійна густина чесаної стрічки, ктекс	22,1
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,3
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,632
Стрічка, 1-й перехід	
Лінійна густина чесаної стрічки, ктекс	30,2
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,0
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,659
Стрічка 2-й перехід	
Лінійна густина чесаної стрічки, ктекс	30,1
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,1
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,704
1- Гребінна стрічка (1-й стрічковий перехід)	
Лінійна густина чесаної стрічки, ктекс	25,7
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,5
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,778
Стрічка після фарбування, 1-й перехід	
Лінійна густина чесаної стрічки, ктекс	30,1
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,3
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,778
Стрічка після фарбування, 2-й перехід (з'єднання)	
Лінійна густина чесаної стрічки, ктекс	30,0
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,0
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,817
Стрічка після фарбування, 3-й перехід	
Лінійна густина чесаної стрічки, ктекс	15,9
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	3,2
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,750

Продовження табл. 4.10.

2 - Гребінна стрічка (1-й стрічковий перехід)	
Лінійна густина чесаної стрічки, ктекс	22,1
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,5
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,772
Стрічка 2-й перехід	
Лінійна густина чесаної стрічки, ктекс	22,1
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,6
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,814
Стрічка для рівниці 1-й перехід	
Лінійна густина чесаної стрічки, ктекс	23,0
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,2
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,861
Стрічка для рівниці 2-й перехід	
Лінійна густина чесаної стрічки, ктекс	23,1
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	2,2
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,905
Стрічка для рівниці 3-й перехід	
Лінійна густина чесаної стрічки, ктекс	9,5
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	4,2
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,932
Стрічка для рівниці 4-й перехід	
Лінійна густина чесаної стрічки, ктекс	4,8
Нерівнота за лінійною густиною стрічки, %	5,1
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,971
Рівниця	
Лінійна густина рівниці, ктекс	0,317
Нерівнота за лінійною густиною рівниці, %	1,6
Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон, -	0,960
Відносне розривальне навантаження рівниці, сН/текс	8,3
Коефіцієнт варіації за крутінням рівниці, %	2,9
Одиночна пряжа	
Лінійна густина однониткової пряжі, текс	16,0
Нерівнота за лінійною густиною однониткової пряжі, %	2,6
Відносне розривальне навантаження пряжі, сН/текс	118,3
Коефіцієнт варіації за крутінням однониткової пряжі, %	2,4
Видовження при розриванні однониткової пряжі, %	15,5
Кручена пряжа	
Лінійна густина крученої пряжі, текс	32,2
Нерівнота за лінійною густиною крученої пряжі, %	2,2

Закінчення таблиці 4.10.

Відносне розривальне навантаження крученої пряжі, сН/текс	136,9
Видовження при розриванні крученої пряжі, %	19,8
Коефіцієнт витривалості, %	94,7
Коефіцієнт варіації за крутінням крученої пряжі, %	7,0
Сирова тканина	
Поверхнева густина сирової тканини, г/м²	208,0
Лінійна густина сирової тканини, г/м	315,1
Розривальне навантаження сирової тканини по основі, Н	977,5
Розривальне навантаження сирової тканини по утоку, Н	771,0
Розривальне видовження сирової тканини по основі, мм	49,9
Розривальне видовження сирової тканини по утоку, мм	40,7
Водопроникність, дм³/(м²·с)	
Готова тканина	
Поверхнева густина готової тканини, г/м²	211,4
Лінійна густина готової тканини, г/м	324,1
Розривальне навантаження готової тканини по основі, Н	1009,6
Розривальне навантаження готової тканини по утоку, Н	520,7
Розривальне видовження готової тканини по основі, мм	49,3
Розривальне видовження готової тканини по утоку, мм	41,7
Зміна лінійних розмірів тканини по основі, %	0,5
Зміна лінійних розмірів тканини по утоку, %	0,5
Повітропроникність, дм³/(м²·с)	58,3
Питома пористість, м²/г	45,0
Коефіцієнт зминальності тканини, -	0,24
Стійкість до тертя тканини, цикли	14970,8
Пілінгування тканини, пілі/см²	4,3

Для прикладу на рис. 4.11-4.13 представлені графіки фактичних та теоретичних значень певних показників властивостей волокнистих продуктів, отримані за експериментальними даними та розробленим програмним комплексом СПВТМ, які визначаються неперервно протягом певної кількості етапів виробничого циклу для чистововняної пряжі. На графіках (рис. 4.11-4.13) також представлені межі похибки (5%) для кожного наведеного показника властивостей текстильних продуктів певного асортименту, що дозволяє прогнозувати зміни цих показників протягом всіх етапів їх виробничого перетворення.

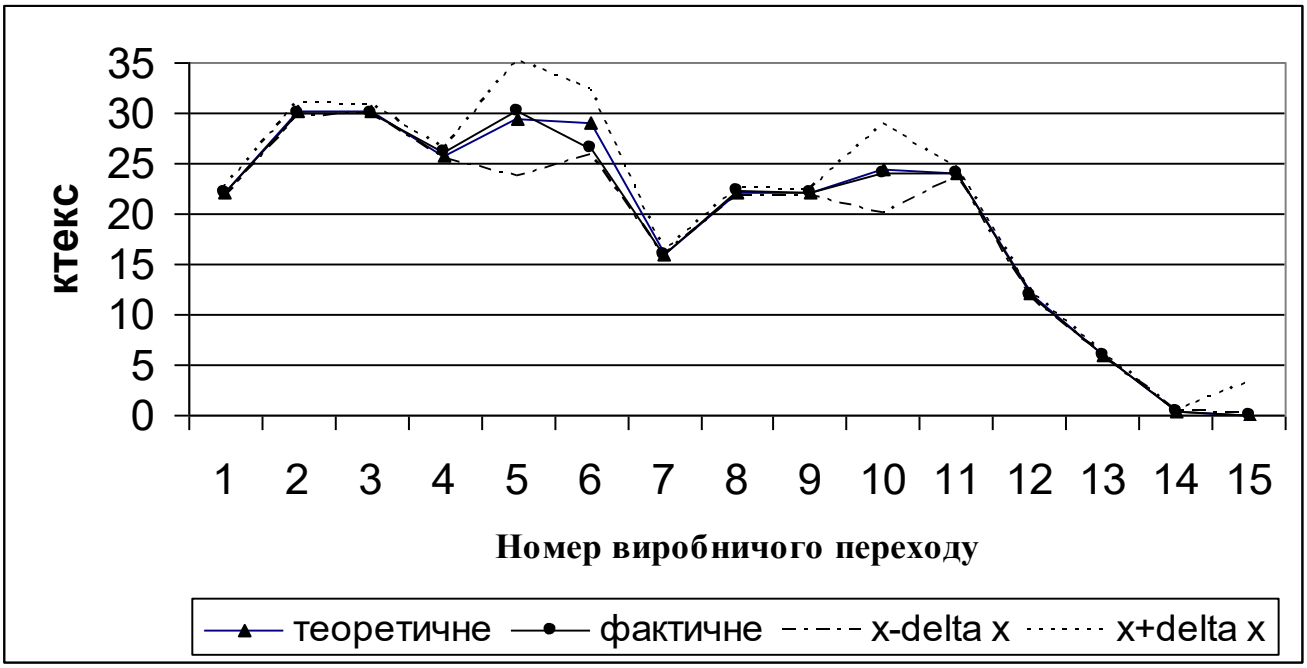


Рис. 4.11. Графіки фактичних та теоретичних значень лінійної густини волокнистих продуктів для чистововняної пряжі за виробничими переходами

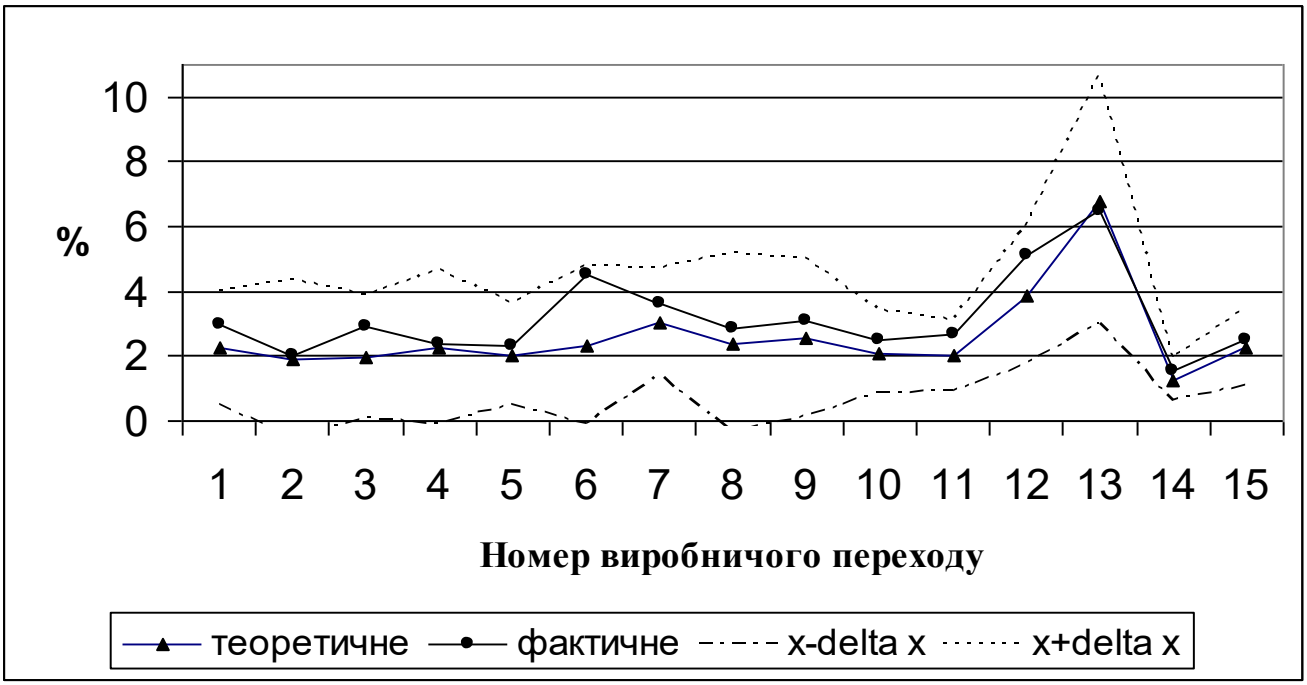


Рис. 4.12. Графіки фактичних та теоретичних значень коефіцієнта варіації за лінійною густиною волокнистих продуктів чистововняної пряжі за виробничими переходами

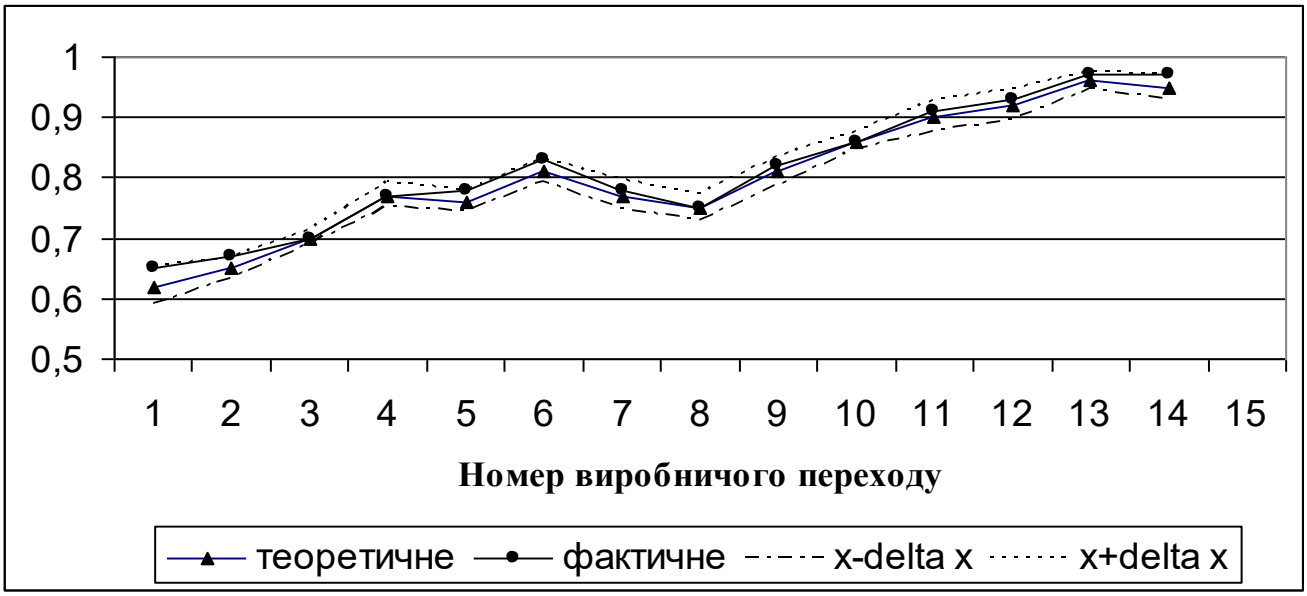


Рис. 4.13. Графіки фактичних та теоретичних значень ступеня розпрямленості та орієнтації волокнистих продуктів чистововняної пряжі за виробничими переходами

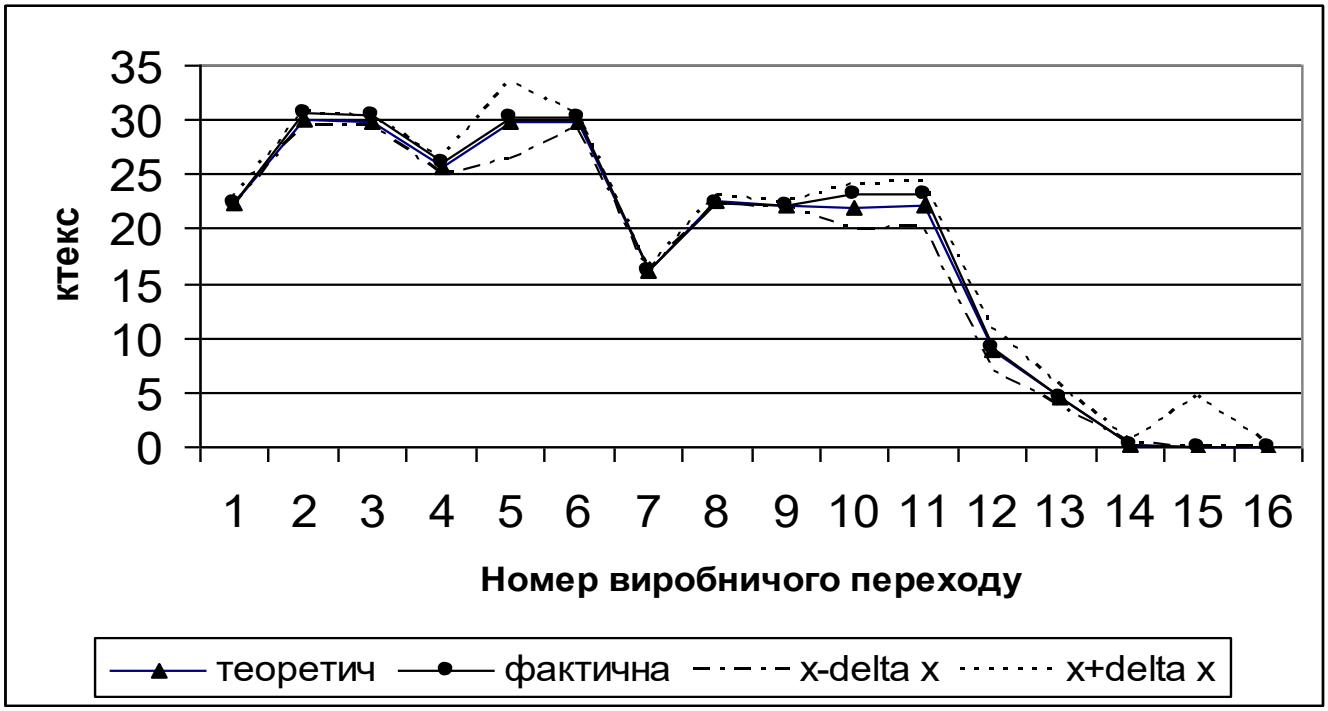


Рис. 4.14. Графіки фактичних та теоретичних значень лінійної густини волокнистих продуктів для напіввовняної пряжі за виробничими переходами

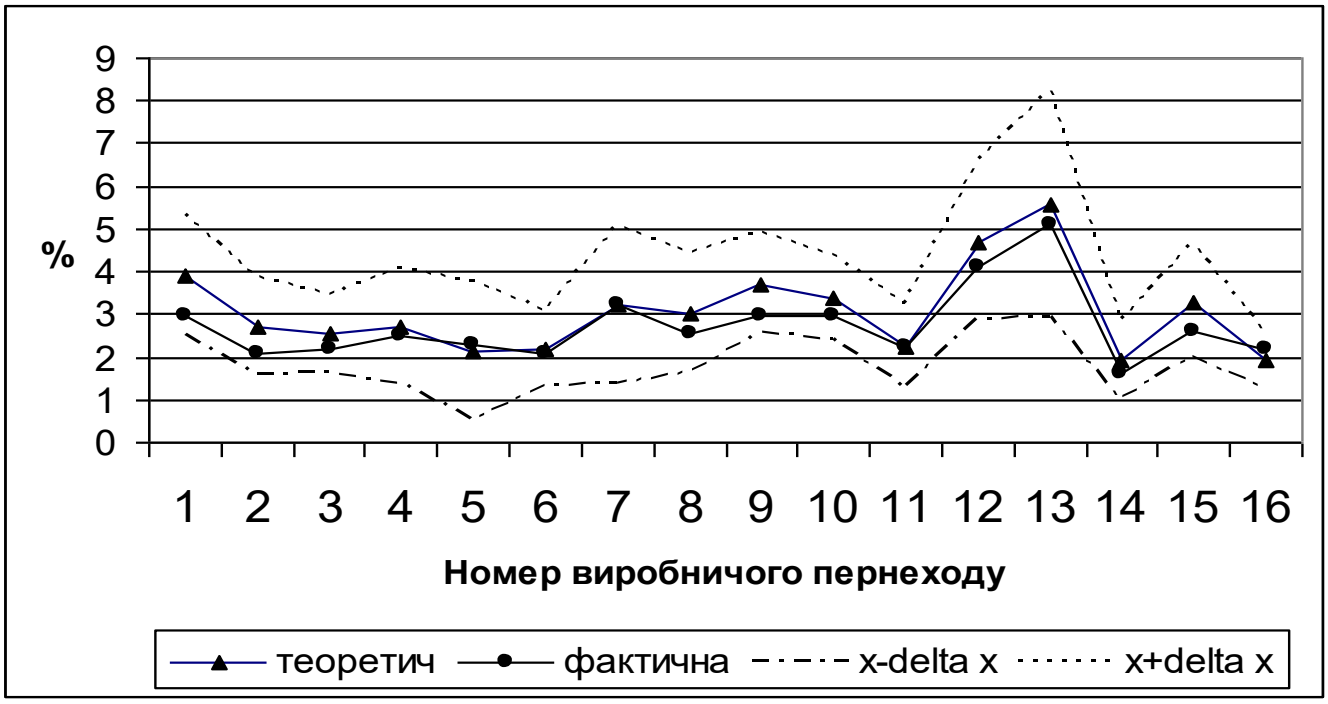


Рис. 4.15. Графіки фактичних та теоретичних значень коефіцієнта варіації за лінійною густиною волокнистих продуктів напіввовняної пряжі за виробничими переходами

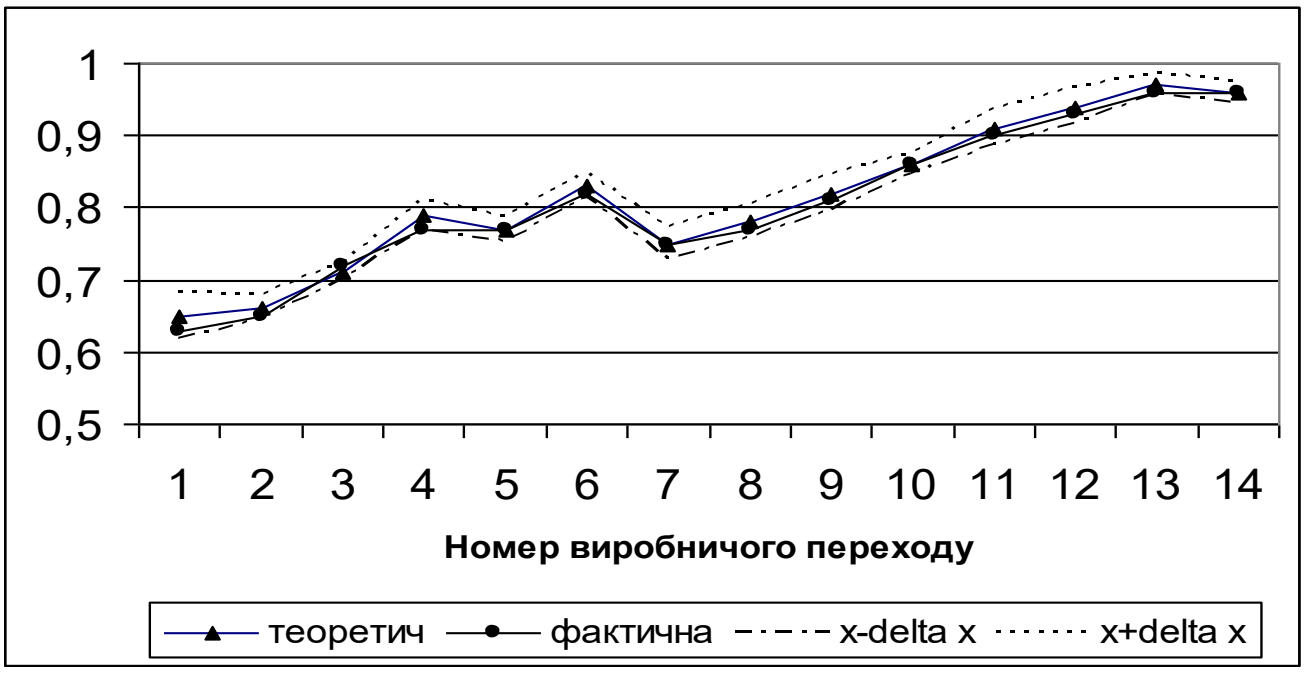


Рис. 4.16. Графіки фактичних та теоретичних значень ступеня розпрямленості та орієнтації волокнистих продуктів напіввовняної пряжі за виробничими переходами

На рис 4.14-4.16 представлені графіки фактичних та теоретичних значень певних показників властивостей волокнистих продуктів, отримані за експериментальними даними та розробленим програмним комплексом СПВТМ для напіввовняної пряжі. На графіках (рис. 4.14-4.16) також представлені межі похибки (5%) для кожного наведеного показника властивостей текстильних продуктів певного асортименту, що дозволяє прогнозувати зміни цих показників протягом всіх етапів їх виробничого перетворення.

Розроблений програмний комплекс в діалоговому режимі формує базу даних, обчислює статистичні показники досліджуваної властивості текстильного матеріалу та будує адекватні математичні моделі зміни властивостей текстильних матеріалів в процесі їх функціонування.

Програмний комплекс також дозволяє досліджувати вплив зміни вхідних значень одного або декількох параметрів (властивостей) на кожному етапі процесу перетворення властивостей текстильних матеріалів на вихідні параметри (властивості) досліджуваного продукту.

При порівнянні фактичних результатів з теоретичними встановлено, що максимальне відхилення прогнозованих значень параметрів досліджуваної пряжі становить не більше 5 %.

Таким чином, на основі проведених обчислень на прикладі чистововняної та напіввовняної тканини встановлено, що ефективність СПВТМ прийнятна для виконання завдань прогнозування властивостей текстильних матеріалів в процесі їх динамічної зміни в виробничих умовах.

Розділ 5. ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Метою функціонування системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів (СПВТМ) є перетворення якісної сировини на пряжу та тканину, які за своїми властивостями відповідають вимогам нормативних документів. Ефективність функціонування системи прийнято визначати відповідними критеріями [7-11,45-47]. Для СПВТМ ефективність функціонування визначається найбільш економічним, якісним та інтенсивним перетворенням сировини в якісну пряжу та тканину [46, 47].

Для визначення показників ефективності функціонування системи здебільшого виходять з того, що показник повинен мати такі властивості:

- об’єктивно характеризувати систему;
- прямий зв’язок з цільовим призначенням системи;
- бути чутливим до зміни основних параметрів системи;
- бути достатньо простим;
- достатньо повно характеризувати якість роботи системи;
- враховувати всі основні властивості та особливості системи, умови її функціонування та взаємодію з зовнішнім середовищем.

Для СПВТМ як показник ефективності функціонування системи можуть бути прийняті показники властивостей продукції. Це пояснюється тим, що в структурі собівартості текстильних матеріалів (особливо пряжі) основну частину становить вартість сировини та економічний ефект отримують, головним чином, за рахунок збільшення виходу готової продукції.

Дуже важливе значення має оцінка якості продукції з урахуванням динаміки її виробництва, виявлення залежності показників якості готової продукції від значення технологічних параметрів та особливостей функціонування СПВТМ.

Виходячи з зазначеного вище, процес формування якості продукції системи можна подати у вигляді схеми (рис.5.1). Якість продукції в цьому випадку є об'єктом управління та об'єктом регулювання. Актуальним є утворення системи оптимізації якості, її планування, управління та регулювання безпосередньо в процесі виробництва продукції.

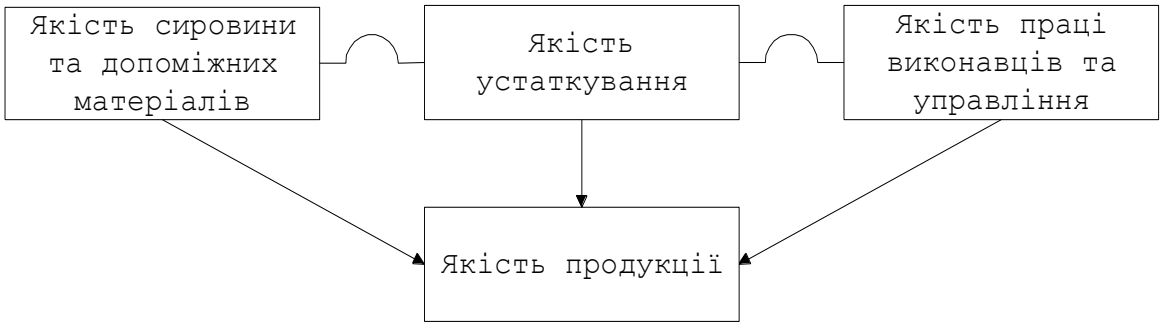


Рис. 5.1. Схема процесу формування якості продукції

Як видно зі схеми, одним з важливих факторів, які формують якість продукції, є якість похідної сировини та допоміжних матеріалів. Тому необхідною умовою є стабілізація показників якості похідної сировини, допоміжних матеріалів та їх оптимізація.

Оскільки СПВТМ в основному функціонує в умовах невизначеності, величини всіх одиничних показників якості матеріалів є випадковими, тому доцільно як показник ефективності функціонування системи прогнозування властивостей матеріалів визначити комплексну оцінку ймовірних характеристик цих величин.

Для кількісної оцінки показника ефективності функціонування системи потрібно мати достатньо інформації про фактичний перебіг виробничого процесу. Кількість факторів, які впливають на якість текстильних матеріалів, досить велика, тому визначення домінуючих факторів може бути проведено з використанням методів апріорного ранжирування та факторних експериментів з подальшим аналізом їх результатів.

5.1. Розробка методу оцінювання ефективності системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів

Якість функціонування системи прийнято визначати показниками ефективності [7-11, 143]. Ці показники визначають ступінь пристосування системи до виконання поставленої перед нею мети. На теперішній час показники визначення ефективності системи прогнозування властивостей пряжі в процесі її виготовлення ще не розроблено, тому розглянемо можливі підходи до визначення ефективності системи прогнозування властивостей пряжі [155].

До показників ефективності функціонування систем висувають певні вимоги. Такі показники повинні:

- повно та об’єктивно характеризувати особливості та властивості системи;
- чітко визначати зміни основних параметрів системи;
- бути достатньо простими;
- характеризувати умови функціонування системи та взаємодію з зовнішнім середовищем.

Оскільки собівартість пряжі становить більше ¾ вартості похідної сировини, а економічний ефект отримують в основному за рахунок збільшення виходу готової продукції, то як показником ефективності функціонування наведеної вище системи може бути прийнятий показник якості волокнистих напівфабрикатів, пряжі та тканини. Доцільність такого вибору може бути обґрунтована ще й тим, що ці показники не такі складні і мають кількісне визначення. Крім того, важливим також є визначення показників якості продукції з врахуванням динаміки виробництва та визначення залежності зміни цих показників від параметрів технологічного режиму.

Виходячи з наведеного вище, в СПВТМ показниками (критеріями) ефективності системи можуть бути прийняті одиничні показники якості продукції, які упродовж певного проміжку часу в процесі виготовлення та експлуатації мають тенденцію до збільшення (ступінь розпушеності та очищення волокнистої маси, розпрямленість та орієнтація волокон, ущільнення

та скрученість пряжі, зминальність тканини тощо) або зменшення (нерівнота за лінійною густиною волокнистого настилу, стрічки, рівниці та пряжі, розривальне навантаження рівниці, пряжі та тканини, а також видовження пряжі та тканини на момент розірвання, зносостійкість тканини тощо).

Властивості текстильних матеріалів визначають за допомогою органолептичних та інструментальних (об'єктивних) методів вимірювання. Органолептичні властивості текстильних матеріалів, такі як колір та гриф, визначають експертним методом шляхом порівняння зразка матеріалу з еталоном. Інструментальні методи включають в себе вимірювання за допомогою різних приладів.

Оскільки в умовах текстильного виробництва постійно проявляється дія різних випадкових факторів, то спостерігаються коливання на проміжку певного часу величини одиничних показників якості (ОПЯ) продукції. У зв'язку з цим ефективність СПВТМ в процесі їх виробництва доцільніше визначати таким показником, який враховує комплексний підхід до визначення якості текстильних матеріалів та параметри, які враховують особливості процесу виробничого перетворення властивостей продукції. Такий підхід дає можливість застосовувати комп'ютерну техніку у визначенні показника ефективності, що досить зручно при комплексному підході до аналізу системи в цілому.

Загальний підхід до визначення критерію ефективності СПВТМ полягає в такому:

- вибір ОПЯ;
- ранжирування ОПЯ за значущістю (експертне оцінювання);
- отримання безрозмірних оцінок ОПЯ;
- визначення комплексного показника якості певного продукту;
- визначення узагальненого показника ефективності системи.

На властивості текстильних матеріалів у процесі їх виготовлення впливає багато факторів. При виборі ОПЯ продуктів прядильного виробництва потрібно проаналізувати показники, враховані нормативними документами

(стандартами, технічними умовами, рекомендаціями тощо), а також визначити їх значущість на основі досвіду та спеціальних досліджень, враховуючи при цьому як використання продукту за призначенням, так і забезпечення нормального процесу його отримання та подальшої переробки [142-157].

Ранжирування ОПЯ за значущістю можна здійснювати двома способами. Перший полягає у визначенні однофакторних або багатофакторних залежностей. При факторному аналізі значущість кожного фактора оцінюється за його впливом на математичне чекання вихідного параметра, інакше кажучи значенням коефіцієнтів регресії, визначених у кодованому рівнянні з майже однаковими відносними інтервалами варіювання.

При значній подовженості виробничого перетворення властивостей продукції застосовувати зазначений вище підхід до визначення значущості ОПЯ досить складно, тому доцільно використати другий спосіб встановлення домінуючих факторів, який проводиться шляхом застосування експертного оцінювання. При експертному оцінюванні важливо правильно вибрати комплекс показників, які суттєво впливають на властивості продукції. Поряд з цим визначається вагомість γ_i кожного ОПЯ і проводиться ранжирування ОПЯ за цим показником. (Додаток Б).

Після встановлення домінуючих факторів (найбільш важливих показників якості продуктів прядильного виробництва) можна приступити до визначення комплексної оцінки якості продуктів прядильного виробництва. Для визначення узагальнених комплексних оцінок окремі ОПЯ, що мають різну розмірність, необхідно перевести в однакові безрозмірні (ранги, бали, індекси якості, показники бажаності тощо). Розглянемо особливості кожного підходу до визначення безрозмірних значень показників та визначимо найбільш прийнятний для оцінки нашої системи.

Рангові оцінки показників якості волокнистих продуктів визначають порядкове місце певного волокнистого продукту при порівнянні між собою

декількох різних партій продуктів однакової структури, способу виготовлення та призначення (волокниста маса, стрічка, рівниця чи пряжа). Такі оцінки є дискретними та безрозмірними. Кращий за цим показником волокнистий продукт оцінюють рангом $R = 1$, а гірший – рангом $R = m$ (m - кількість порівнюваних волокнистих продуктів). При ранговому оцінюванні визначені оцінки не потребують нормативів для різних рівнів показника якості. Рангові оцінки можна використовувати як при інструментальному, так і при органолептичному методах оцінки якості волокнистих продуктів. Ці оцінки досить прості, але мають однакову різницю розмірних показників при однаковій різниці рангів. Також при такому оцінюванні немає нульової оцінки для низького рівня якості. Порівняльну оцінку продукції в цьому разі можна подати у вигляді суми рангів $\sum_{1}^{n} R$ або за значенням середнього рангу $\overline{R} = \sum_{1}^{n} R \Big/ n$.

Оцінки в балах передбачають такі градації: відмінно, добре, задовільно та незадовільно. Вони також є дискретними. Ці оцінки залежать від рівня якості волокнистого продукту і при інструментальних методах визначення встановлюються залежно від норми розмірних значень показників якості для вищезазначених чотирьох градацій. Можуть бути запропоновані два варіанти оцінок балами ($Б_i$): перший (5, 4, 3, 0) та другий (3, 2, 1, 0). Можливі також і інші варіанти оцінок балами. При оцінці балами визначається рівень якості, а не ступінь непридатності продукції, тому оцінці «незадовільно» завжди відповідає «0» балів. Оцінку балами можна застосовувати і при органолептичному оцінюванні показників якості продукції. Таке оцінювання досить просте і має нульовий бал для низького рівня показника якості, але як і при ранговій оцінці має дискретність, що призводить до надання майже однаковим за властивостями продуктам, які розташовані близько від межі двох градацій

якості, різних балів, хоча фактично різниця між значеннями показника буде несуттєвою.

Досить цікавим при визначенні безрозмірних ОПЯ волокнистих продуктів є застосування відносних недискретних індексів якості q. Залежно від того, підвищується якість певного показника при збільшенні його номінальної величини чи зменшується, показники відповідно поділяються на позитивні та негативні. Відносні індекси якості для позитивних показників визначають за такими формулами:

$$q = x / x_{á} \ ; \tag{5.1}$$

$$q_0 = x / x_{\max} , \tag{5.2}$$

де x та x_{max} – диференційна та максимальна диференційна розмірна оцінка показника якості досліджуваної продукції; $x_{б}$ – базове значення показника якості еталонної продукції.

Для негативних показників відносні індекси якості визначають за іншими формулами:

$$q = x_{б} / x ; \tag{5.3}$$

$$q_0 = x_{\max} / x . \tag{5.4}$$

За формулами (5.1) та (5.3) визначають відносні індекси якості при наявності нормативних (базових) значень відповідних ОПЯ. При відсутності нормативів за величину базового показника можна прийняти значення найкращого показника порівнюваної продукції і визначити відносні індекси якості за формулами (5.2) та (5.4). При цьому значення q знаходяться в межах від нуля до одиниці ($0 \le q \le 1$), що є більш доцільним при підрахунку комплексної оцінки.

Відносні значення ОПЯ, визначені за формулами (5.1) та (5.3), мають певний недолік, пов'язаний з тим, що визначені оцінки q можуть бути отримані

значно більшими за одиницю при наявності занижених рівнів $x_б$. При врахуванні таких завищених оцінок у комплексному оцінюванні може перекрити вплив декількох поганих оцінок з малими значеннями q. Цей недолік усувається при визначенні відносних індексів якості q_0 за формулами (5.2.) та (5.4).

При визначенні безрозмірних ОПЯ волокнистих продуктів використовують показники бажаності d, які також є недискретними характеристиками якості. Вони змінюються в межах від нуля до одиниці незалежно від діапазону зміни розмірних ОПЯ волокнистих продуктів. Показники бажаності розраховують за допомогою допоміжних безрозмірних показників y за такими формулами:

$$d = \exp(-1/y) \quad , \tag{5.5}$$

де $0<y<\infty$;

$$d = \exp\left[-\exp(-y)\right], \tag{5.6}$$

де $-\infty<y<\infty$.

Формула (5.6) може застосовуватися як для позитивних, так і для негативних значень y і тому є більш універсальною ніж формула (5.5).

Розмірні значення x натуральних показників якості перераховують на безрозмірні показники y за такими формулами:

$$y = a_0 + a_1 x; \tag{5.7}$$

$$y = a_0 + a_1 x + \grave{a}_2 \tilde{o}^2 . \tag{5.8}$$

Формула (5.7) застосовується при лінійній залежності між y та x, а формула (5.8) – при нелінійній. Для знаходження відповідних значень сталих α_0, α_1, α_2, представлених у формулах (5.7) та (5.8), необхідно мати граничні значення показників бажаності для чотирьох градацій якості – відмінно, добре,

задовільно та незадовільно, а також відповідних їм значень безрозмірних показників y та розмірних x. Маючи значення x розмірних натуральних показників для двох або трьох градацій якості з відомими значеннями (за відповідними таблицями) безрозмірного показника y і підставляючи ці значення в рівняння (5.7) або (5.8), розраховують коефіцієнти відповідно α_0 та α_1 або α_0, α_1 та α_2 .

Показник бажаності d та значень y для різних натуральних значень x також можна визначити графічним методом Харінгтона із застосуванням тривісних номограм xdy.

Показники бажаності d мають певну умовність, оскільки залежать від вибору значень y для різних категорій якості та рівня відповідних їм нормованих значень натуральних показників якості волокнистих продуктів x. При будь-яких значеннях безрозмірного показника y значення показника бажаності d змінюється в межах від нуля до одиниці ($0 \leq d \leq 1$).

Таким чином, з зазначеного вище видно, що більш універсальними при визначенні безрозмірних показників якості є індекси якості, визначені за формулами (5.2) та (5.4) та показники бажаності – формула (5.6). Простішими і разом з тим достатньо інформаційними є відносні індекси якості, тому в подальшому їх доцільно використовувати для оцінювання ефективності системи прогнозування властивостей. Разом з тим відносні індекси якості досить зручно розраховувати за допомогою ЕОМ.

Комплексні оцінки властивостей волокнистих продуктів можна визначати різними способами. Так, середня арифметична комплексна оцінка визначається за такою формулою:

$$A_j = \sum_{i=1}^{n} (k_{ij} \cdot \gamma_i), \qquad (5.9)$$

де k_{ij} – безрозмірна оцінка показника якості волокнистого матеріалу; γ_i – коефіцієнт вагомості відповідного показника якості.

Середня геометрична комплексна оцінка визначається таким чином:

$$G_j = \prod_{i=1}^{n} k_{ij}^{\gamma_i} \quad . \qquad (5.10)$$

Середня гармонічна комплексна оцінка визначається за такою формулою:

$$P_j = 1 \Big/ \sum_{i=1}^{n} \left(\gamma_i / k_{ij} \right) . \qquad (5.11)$$

При цьому значення $\sum_{i=1}^{n} \gamma_i$ з формул (5.9), (5.10) та (5.11) дорівнює 1.

З аналізу формули (5.9) бачимо, що недоліком середньоарифметичної комплексної оцінки є те, що при наявності незадовільних оцінок ($d_{ij} = 0$ або $Б_{ij} = 0$) окремих показників якості загальна комплексна оцінка може бути достатньо високою при наявності інших показників з високими оцінками. Тому при наявності хоча б однієї безрозмірної оцінки із нульовим значенням середню арифметичну комплексну оцінку приймають рівною нулю.

При розрахунку ж комплексної оцінки за формулами (5.10) та (5.11) при наявності незадовільних оцінок ($d_{ij} = 0$ або $Б_{ij} = 0$) окремих показників якості загальна комплексна оцінка буде дорівнювати нулю, що враховує загальний низький рівень якості за будь-яким низьким одиничним показником. Тому як один із варіантів можна запропонувати для подальшого застосування при визначенні узагальненого показника ефективності системи середню геометричну (5.10) або середню гармонічну комплексну оцінку (5.11) якості продукції [154].

Наведені вище комплексні оцінки (5.9), (5.10) та (5.11) призначені для оцінювання комплексного показника якості однотипної продукції (волокно, волокниста маса, настил, стрічка, рівниця, пряжа тощо). Поряд з цим зазначені вище продукти прядильного виробництва мають досить різноманітний характер

і мають відмінні між собою комплекси ОПЯ. Показник ефективності системи повинен враховувати зміни властивостей кожного виду продукції прядильного виробництва впродовж усього технологічного циклу отримання пряжі і бути узагальненим у визначенні якості пряжі.

Структурно-функціональна схема зміни властивостей продукції в процесі виробництва будується на базі безпосереднього вивчення виробничого процесу і є якісною мовно-графічною моделлю, яка відображає основні цикли виробничого процесу, які впливають на зміну властивостей продукту. Разом з тим відомо, що математична модель перетворення властивостей продукції в процесі виробництва може бути представлена рівнянням (2.1).

Тому, виходячи з наведеного вище, для визначення ефективності системи прогнозування властивостей продуктів прядильного та ткацького виробництв потрібно поряд з комплексним показником якості продукції ввести показник, який би враховував особливості перетворення властивостей продукції в процесі виробництва. Таким показником може бути коефіцієнт виходу продукту $b_з$ в процесі кожної технологічної операції:

$$b_i = m_{вих} / m_{вх}, \qquad (5.12)$$

де $m_{вих}$ – кількість продукції на виході після i - ї ділянки виробничого процесу; $m_{вх}$ – кількість продукції на вході i - ї ділянки виробничого процесу.

Ефективність перетворення властивостей продукції в кожній i-й ділянці ($i = 1, \ldots n$) виробничого процесу визначається показником ефективності E_i за такою формулою:

$$E_i = R^i_{як} \cdot b_i \cdot K^i_{кч}, \qquad (5.13)$$

де $R^i_{як}$ - комплексний показник якості текстильного матеріалу визначено за формулою (5.10) або (5.11); $K^i_{кч}$ – коефіцієнт корисного часу роботи устаткування.

Для визначення показника ефективності системи прогнозування властивостей текстильних продуктів у кожній *i*-й ділянці спочатку потрібно визначити комплексний показник якості кожного продукту (волокна, волокнистої маси, настилу, стрічки, рівниці, пряжі тощо) за формулою (5.10) або (5.11) при застосуванні безрозмірних значень ОПЯ, розрахованих за формулою (5.2) або (5.4). Після цього визначають ефективність перетворення властивостей продукції в кожній *i*-й ділянці виробничого процесу за формулою (5.13). У подальшому визначають загальний показник ефективності E_c системи прогнозування за такою формулою:

$$E_c = \sum_{i=1}^{m} E_i / n, \qquad (5.14)$$

де n – кількість ділянок виробничого процесу.

Доцільність застосування формул (5.13) та (5.14) визначається таким: комплексний показник якості продукту кожної ділянки виробничого процесу $R^i_{як}$ залежить від особливостей вхідної сировини, стану устаткування і визначає зміни основних параметрів системи. Разом з тим на коефіцієнт виходу продукту $b_з$ та значення $K_{кч}$ впливає кваліфікаційний рівень персоналу та умови функціонування виробництва. При зменшенні коефіцієнта виходу продукту b_i та $K_{кч}$ зменшується ефективність кожної ділянки виробничого процесу та системи в цілому [154].

5.2. Визначення критерію ефективності підсистеми прогнозування властивостей камвольної пряжі

Для розрахунку критерію ефективності підсистеми прогнозування властивостей камвольної крученої пряжі, яка безпосередньо застосовується у

виробництві тканин, потрібно визначити коефіцієнт виходу крученої пряжі. У табл. 5.1 представлені норми відходів за виробничими переходами камвольного прядильного виробництва.

Таблиця 5.1

Норми відпадків за переходами прядильного виробництва камвольної пряжі

Перехід	Вид та стан вовни	Кількість відходів, %	Вихід, %
Кардочесання	Мериносна союзна		
	нормальна	5,47	94,53
	сміттєва	5,68	94,32
	реп'яхова	7,33	92,67
	реп'яхова - 2	15,92	84,08
	Мериносна союзна з вкладенням до 30% хім. волокон		
	нормальна	1,45	98,55
	сміттєва	1,6	98,4
	реп'яхова	2,00	98,0
	реп'яхова - 2	2,5	97,5
1-ше гребенечесання (стрічка)	Мериносова союзна		
	нормальна	12,90	87,1
	сміттєва	13,45	86,55
	реп'яхова	14,50	83,5
	реп'яхова – 2	22,39	87,61
	Мериносова союзна з вкладенням до 30% хімічних волокон		
	нормальна	12,20	87,8
	сміттєва	12,70	87,3
	реп'яхова	13,80	86,2
	реп'яхова - 2	21,73	78,27
	Мериносова союзна з вкладенням більше 30 % хімічних волокон		
	нормальна	11,2	88,8
	сміттєва	11,7	88,3
	реп'яхова	12,8	87,2
	реп'яхова - 2	20,04	79,06
2-ге гребенечесання	Чистововняна стрічка	3,5	96,5
	Напіввовняна стрічка	3,0	97,0
Рівниця		0,65	99,35
Одиночна пряжа	чистововняна фарбована	4,19	95,81
	напіввовняна фарбована	3,84	96,16
Кручена пряжа	чистововняна фарбована	1,45	98,55
	напіввовняна фарбована	1,25	98,75

У табл. 5.2 представлені норми виходу камвольної пряжі, розраховані за всіма виробничими переходами.

Таблиця 5.2

Загальний вихід камвольної пряжі за нормами залежно від стану вовни

Клас	Підклас	Вид вовни	Стан вовни	Загальний вихід, %
Пряжа		Мериносова союзна	нормальна	74,18
			сміттєва	71,78
Пряжа	Одиночна чистововняна фарбована	Мериносова союзна	реп'яхова	70,04
			реп'яхова -2	66,68
		Мериносова союзна з вкладенням до 30% хімічних волокон	нормальна	79,18
			сміттєва	78,61
			реп'яхова	77,30
	Одиночна напіввовняна фарбована	Мериносова союзна з вкладенням більше 30% хімічних волокон	реп'яхова -2	69,84
			нормальна	80,08
			сміттєва	79,51
			реп'яхова	78,21
	Кручена чистововняна	Мериносова союзна	реп'яхова -2	70,54
			нормальна	72,73
			сміттєва	70,33
			реп'яхова	68,59
	Кручена напіввовняна	Мериносова союзна з вкладенням до 30% хімічних волокон	реп'яхова -2	65,23
			нормальна	77,93
			сміттєва	77,36
			реп'яхова	76,96
		Мериносова союзна з вкладенням більше 30% хімічних волокон	реп'яхова -2	68,59
			нормальна	78,83
			сміттєва	78,26
			реп'яхова	76,96
			реп'яхова -2	69,29

Для порівняння в табл. 5.3 представлені показники виходу продукту на кожному етапі перетворення їх властивостей для двох варіантів чистововняної пряжі, виготовленої з мериносової нормальної вовни.

Таблиця 5.3

Показники виходу продукту за етапами виробничого перетворення

№	Назва етапу	Вихід	
		1в	2в
1	Розпушування, тіпання, змішування	0,842	0,837
2	Чесання	0,945	0,938
3	Складання, витягування та вирівнювання	0,987	0,984
4	Складання, витягування та вирівнювання	0,987	0,984
5	Гребенечесання (1)	0,871	0,867
6	Складання, витягування та вирівнювання	0,987	0,984
7	Фарбування	0,997	0,997
8	Складання, витягування та вирівнювання	0,987	0,984
9	Складання, витягування та вирівнювання	0,987	0,984
10	Гребенечесання (2)	0,966	0,958
11	Складання, витягування та вирівнювання	0,987	0,984
12	Складання, витягування та вирівнювання	0,987	0,984
13	Складання, витягування та вирівнювання (рівничний перехід)	0,987	0,984
14	Складання, витягування та вирівнювання (рівничний перехід)	0,987	0,984
15	Складання, витягування та вирівнювання (рівничний перехід)	0,987	0,984
Закінчення табл.. 5.3			
16	Складання, витягування та вирівнювання (рівничний перехід)	0,987	0,984
17	Передпрядіння	0,994	0,992
18	Прядіння	0,958	0,953
19	Перемотування	0,992	0,991
20	Трощення	0,998	0,997
21	Кручення	0,996	0,995

Після визначення коефіцієнта виходу продуктів за етапами в подальшому визначають комплексний показник якості кожного з волокнистих продуктів у відповідності з етапами перетворення властивостей волокнистих продуктів.

Для цього проводилося експертне опитування спеціалістів і визначався комплексний показник якості кожного з волокнистих продуктів (жмутків, стрічки, рівниці, одиночної та крученої пряжі). (Додаток Б).

Так, у табл. 5.4 наведено найбільш вагомі показники властивостей волокнистих продуктів і за відомою методикою експертного оцінювання визначено коефіцієнти вагомості [142, 143] кожного з наведених у табл. 5.4 показників якості волокнистих продуктів.

Таблиця 5.4

Значення вагомості показників якості волокнистих продуктів

№	Назва показника	Коефіцієнт вагомості γ
	Жмутки	
1	Довжина волокна	0,29
2	Діаметр (тонина) волокна	0,26
3	Питоме розривальне навантаження волокна	0,19
4	Поверхнева густина жмутків	0,14
5	Нерівнота за поверхневою густиною жмутків	0,12
	Стрічка чесана	
1	Лінійна густина чесаної стрічки	0,15
2	Коефіцієнт варіації за лінійною густиною	0,29
3	Ступінь розпрямлення та орієнтації волокон	0,25
4	Дефекти (*кількість мушок*)	0,14
5	Довжина волокна (*середня*)	0,17
	Стрічки за переходами	
1	Лінійна густина вихідної стрічки	0,15
2	Коефіцієнт варіації за лінійною густиною	0,29
3	Ступінь розпрямлення та орієнтації волокон	0,26
4	Витяжка (*загальна*)	0,18
5	Число складень	0,11
	Рівниця	
1	Лінійна густина рівниці	0,08
2	Коефіцієнт варіації за лінійною густиною	0,2
3	Ступінь розпрямлення та орієнтації волокон	0,12
4	Відносне розривальне навантаження	0,15
5	Коефіцієнт крутіння рівниці	0,17
6	Коефіцієнт варіації за крутінням	0,06
7	Витяжка (*загальна*)	0,1
8	Дефекти (*прихованих джгутів на 300 м*)	0,11

Закінчення табл. 5.4.

	Одиночна пряжа	
1	Лінійна густина пряжі	0,06
2	Коефіцієнт варіації за лінійною густиною	0,18
3	Ступінь розпрямлення та орієнтації волокон	0,11
4	Відносне розривальне навантаження пряжі	0,14
5	Коефіцієнт крутіння пряжі	0,15
6	Коефіцієнт варіації за крутінням	0,08
7	Видовження при розриванні	0,11
8	Витяжка (*загальна*)	0,06
9	Дефекти (*джгути на 5000 м*)	0,11
	Кручена пряжа	
1	Лінійна густина пряжі	0,07
2	Коефіцієнт варіації за лінійною густиною	0,19
3	Ступінь розпрямлення та орієнтації волокон	0,11
4	Відносне розривальне навантаження пряжі	0,15
5	Видовження при розриванні	0,14
6	Коефіцієнт крутіння пряжі	0,15
7	Коефіцієнт варіації за крутінням	0,08
8	Дефекти (*джгути на 5000 м*)	0,11

За відомими формулами (5.10) або (5.11) розраховуємо комплексний показник якості для кожного волокнистого продукту (табл. 5.5).

Таблиця 5.5.

Комплексні показники якості волокнистих продуктів

№	Назва волокнистого продукту	Комплексний показник	
		1в	2в
1.	Жмутки	0,85	0,83
2.	Чесана стрічка	0,85	0,84
3.	Стрічка за переходами	0,89	0,87
4.	Рівниця	0,87	0,86
5.	Одиночна пряжа	0,89	0,88
6.	Кручена пряжа	0,91	0,89

Значення комплексних показників волокнистих продуктів залежать від якості та вибраного рівня базового значення показника якості кожного волокнистого продукту.

У табл. 5.6 наведені значення коефіцієнта корисного часу кожного виду устаткування, яке застосовувалося для виготовлення волокнистого продукту для двох варіантів вовняної пряжі.

Таблиця 5.6

Значення коефіцієнта робочого часу устаткування

№	Найменування устаткування	ККЧ	
		1в	2в
1	Тіпальна машина	0,96	0,95
2	Чесальна машина	0,92	0,90
3	Стрічкова машина	0,85	0,70
4	Гребенечесальна машина	0,90	0,85
5	Рівнична машина	0,91	0,76
6	Прядильна машина	0,92	0,90
7	Мотальна машина (автомат)	0,94	0,92
8	Тростильна машина	0,95	0,94
9	Крутильна машина	0,93	0,92

В подальшому визначають показник ефективності кожної виробничої ділянки перетворення властивостей волокнистих продуктів. В таблиці 5.7 приведені значення показників ефективності кожного етапу перетворення властивостей волокнистого продукту.

Таблиця 5.7.

Значення показників ефективності кожного етапу виготовлення чистововняної крученої пряжі

№	Назва етапу	Значення показника ефективності	
		1в	2в
1	Розпушування, тіпання, змішування	0,687	0,66
2	Чесання	0,729	0,709
3	Складання, витягування та вирівнювання	0,747	0,601
4	Складання, витягування та вирівнювання	0,659	0,528
5	Гребенечесання (1)	0,791	0,728
6	Складання, витягування та вирівнювання	0,747	0,599
7	Фарбування	0,754	0,607

Закінчення табл. 5.7.

8	Складання, витягування та вирівнювання	0,747	0,599
9	Складання, витягування та вирівнювання	0,747	0,599
10	Гребенечесання (2)	0,774	0,71
11	Складання, витягування та вирівнювання	0,747	0,599
12	Складання, витягування та вирівнювання	0,747	0,599
13	Складання, витягування та вирівнювання (рівничний перехід)	0,747	0,599
14	Складання, витягування та вирівнювання (рівничний перехід)	0,747	0,599
15	Складання, витягування та вирівнювання (рівничний перехід)	0,747	0,599
16	Складання, витягування та вирівнювання (рівничний перехід)	0,747	0,599
17	Передпрядіння	0,787	0,648
18	Прядіння	0,784	0,755
19	Перемотування	0,83	0,8
20	Трощення	0,844	0,825
21	Кручення	0,843	0,815

У подальшому визначався комплексний показник ефективності системи прогнозування властивостей крученої пряжі (за формулою (5.18)), яка безпосередньо використовується у виробництві тканин.

У табл. 5.8 наведено значення комплексного показника ефективності для кожного варіанта крученої пряжі. Виходячи з цього, можна визначати найбільш ефективний варіант виготовлення пряжі та пропонувати вносити відповідні корективи у кожну ділянку виробничого перетворення властивостей волокнистого продукту.

Таблиця 5.8

Значення комплексного показника ефективності системи прогнозування властивостей чистововняної крученої пряжі

Варіант крученої пряжі	Значення комплексного показника ефективності
1	0,8
2	0,7

Як видно з табл. 5.8, на значення комплексного показника ефективності для різних варіантів пряжі суттєво впливає комплексний показник якості волокнистого продукту, процент виходу волокнистого продукту після кожного етапу перетворення його властивостей, а також коефіцієнт корисного часу роботи устаткування. На значення показника ефективності системи прогнозування властивостей вовняної пряжі суттєво впливатиме також якісний стан сировини (вовни), що впливає на процент виходу волокнистого продукту.

Таким чином, за значенням комплексного показника ефективності системи прогнозування властивостей вовняної пряжі можна робити висновок про функціонування всієї системи прогнозування властивостей вовняної пряжі та визначати причини зниження її якості з можливістю подальшого їх усунення на кожному етапі перетворення властивостей волокнистих продуктів.

Зазначений вище методичний підхід до визначення показника ефективності системи прогнозування властивостей вовняної пряжі можна застосовувати не тільки для її оцінки, а також після відповідного аналізу та поділу на етапи для практично всіх різновидів систем прогнозування властивостей різних текстильних матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кукин Г. Н. Текстильное материаловедение (текстильные полотна и изделия)/ Г. Н. Кукин, А. М. Соловьев.– М.: Легпромбытиздат, 1992.– 272 с.

2. Бузов Б. А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности. Швейное производство / Б. А. Бузов, Н. Д. Алыменкова.– М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 448 с.

3. Торкунова З. А. Испытания трикотажа / З. А. Торкунова – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 199 с.

4. Кобляков А. И. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению / А. И. Кобляков и др. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 334 с.

5. Бузов Б. А. Практикум по материаловедению швейного производства / Б. А. Бузов и др. – М.: Изд. Центр «Академия», 2003. – 416 с.

6. Жихарев А. П. Практикум по материаловедению в производстве изделий легкой промышленности / А. П. Жихарев и др. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 464с.

7. Михайлов Б. С. Основные принципы и законы развития техники: (Монографія) / Б. С. Михайлов. – СПб.: СПГУТД, 2005. – 280 с.

8. Садовский В. Н. Основания общей теории систем. Логико-методологический анализ / В. Н. Садовский. – М.: «Наука», 1974. – 279 с.

9. Лавренев Г.А.Вопросы системного анализа и моделирования в управлении качеством продукции предприятий текстильной промышленности / Г. А. Лавренев, В. М. Криксунов. – М.: ЦНИИТЭИлегпром. – 1980. – №32. – С.3–10. – (Э.-И «Текстильная промышленность в СССР»).

10. Березненко М.П. Системний підхід до забезпечення якості швейних виробів / М. П. Березненко, Н. Г. Савчук, І. П. Палій // Вісник ДАЛПУ. – 1999. – №2. – С.11–13.

11. Кудрявцева Т. Н. Техническая диагностика шерстопрядильного производства / Т. Н. Кудрявцева. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 112 с.

12. Модернізація виробництва: системно-екологічний підхід: Посібник з екологічного менеджменту / [В. Я. Шевчук, Ю. М. Саталкін, В. М. Навроцький та ін.].– К.: Символ-Т, 1997. – 248 с.

13. Севостьянов А. Г. Основы технической кибернетики и ее применение в текстильной промышленности / А. Г. Севостьянов, В. П. Хавкин, А. С. Молчанов. – М.: Легкая индустрия, 1973. – 51 с.

14. Ван Эттингер. Больше через качество / Ван Эттингер, Дж. Ситтинг. – М.: Изд-во стандартов, 1968. – 92 с.

15. Лосицкий О. Г. О моделировании системы управления качеством изделия в процессе изготовления / О. Г. Лосицкий, И. Г. Лившиц // Стандарты и качество. – 1972. – №4. – С.35–37.

16. Hanshow B. D. Marketing and testing of IWS grower contrives wools / B. D. Hanshow – Hkly, IWS, 1985. – P. 189-192/

17. Кокле Э. А. Применение теории планирования эксперимента при создании системы управления качеством продукции / Э.А. Кокле, З.Н. Крапивинский, П. Н. Попов // Стандарты и качество.– 1971.– № 2.– С.33–36.

18. Закс Л. М. Управление качеством как проблема технической кибернетики / Л. М. Закс, В. Я. Розенберг // Измерительная техника. – 1971. – №6 – С.11–14.

19. Щербань В. Ю. САПР оборудования и технологических процессов легкой и текстильной промышленности / В. Ю.Щербань, О. И.Волков, Ю. Ю Щербань. – К.: Бумсервис, 2004. – 514 с.

20. Севостьянов А. Г. Основы математического моделирования механико-технологических процессов текстильной промышленности / А. Г. Севостьянов, П. А. Севостьянов – М.: Легкая индустрия, 1974. – 70 с.

21. Севостьянов А. Г. Моделирование технологических процессов (в текстильной промышленности): / А. Г. Севостьянов, П. А. Севостьянов – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 344 с.

22. Севостьянов А. Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности / А. Г. Севостьянов. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, ООО «Совъяж Бево», 2007 – 646 с.

23. Гинсбург Л. Н. Динамика основных процессов прядения. Формирование и выравнивание волокнистого потока : в 2 т. / Л. Н. Гинсбург, В. П. Хавкин, Ю. М. Винтер, А. С. Молчанов. – М.: Легкая индустрия, 1970. – Т.1. – 1970. – 304 с.

24. Гинсбург Л. Н. Динамика основных процессов прядения. Гребнечесание и вытягивание : в 2 т. / Л. Н. Гинсбург, В. П. Хавкин, Ю. М. Винтер, А. С. Молчанов. – М.: Легкая индустрия, 1970. – Т.2. – 1972. – 308 с.

25. Капитанов А. Ф. Фрикционные процессы в прядении. Прядение и трибология : в 2 ч.. / А. Ф. Капитанов – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2005. – Ч.1.– 2005. – 294 с.

26. Кострицький В. В. Прогнозування параметрів формоутворення верхніх жіночих трикотажних виробів методом медіанних центрів / В. В. Кострицький, К. О. Кисельова // Вісник КНУТД.– 2005.– № 6. – С. 15–19.

27. Слізков А. М. Дослідження властивостей напівфабрикатів прядильного виробництва / А. М. Слізков, Д. В. Ребров // Вісник КНУТД. – 2006. – №2 (28) (спеціальний випуск). – С.86–87.

28. Слізков А. М. Основи технології виробів : підруч. [для студ. вищ. навч. зал.] / А. М. Слізков, Т. О. Якубовська, В. В. Рибальченко та ін. – К.: КНУТД, 2007. – 424 с.

29. Слізков А. М. Аналіз методів оцінки структури стрічкоподібних волокнистих продуктів / А. М. Слізков // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2007.- № 1(13). – С. 53–56.

30. Садыкова Ф. Х. Текстурированные нити, основные их свойства и методы определения / Ф. Х.. Садкова. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 159 с.

31. Севостьянов А. Г. Теория и практика новых способов прядения шерсти и химических волокон / А. Г. Севостьянов : межвуз. сб. науч. тр. – М.: МТИ им.Косыгина, 1988. – 146 с.

32. Щербаков В. П. Аналитические методы проектирования нити и пряжи / В. П. Щербаков, Н. С. Скуланова – М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2007. – 73 с.

33. Шустов Ю. С. Разработка методов прогнозирования физико-механических свойств хлопчатобумажной ткани: монографія / Ю. С. Шустов, А .В. Курденкова. – М.: МГТУ им. Косыгина, 2006. – 208 с.

34. Севостьянов П. А. Прогнозирование характеристик и повышение эффективности исследований технологических систем прядильного производства:дис....доктора техн. наук: 05.19.03 / Петр Алексеевич Севастьянов.– М.,1985.– 382 с.

35. Соловьев А. Н. Измерения и оценка свойств текстильных материалов / А. Н. Соловьев. – М.: Легкая индустрия, 1966. – 210 с.

36. Гусев В. Е. Оптимизация процессов производства аппаратной пряжи с заданными свойствами / В. Е. Гусев, А. П. Коробейников. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1974. –76 с.

37. Разумеев К. Э. Проектирование свойств чистошерстяной камвольной пряжи с целью повышения ее качества и снижения обрывности в прядении: дис.... кандидата техн. наук: 05.19.03 / Константин. Эдуардович. Разумеев. – М., 1984. – 164 с.

38. Соловьев А. Н. Оценка качества и стандартизация текстильных материалов / А. Н. Соловьев, С. М. Кирюхин. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 245 с.

39. Кирюхин С. М. Качество тканей / С. М. Кирюхин, Ю. В. Додонкин. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 160 с.

40. Гусев Б. Н. Разработка методов получения диагностической информации в прядильном производстве : автореф. дис… на соискание

ученой степени доктора техн.наук : спец. 05.19.03 / Борис Николаевич Гусев. – Л.: 1991. – 33 с.

41. Гусев Б. Н. Проблемы обеспечения текстильной промышленности измерительными приборами / Б. Н. Гусев, З. С. Аникин, В. С. Шумарина // Текстильная промышленность. – 1987. – №7. – С. 75–77.

42. Варковецкий М. М. Имитационный подход к решению задач управления текстильным производством / М. М. Варковецкий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1988. – №3. – С. 3–6.

43. Перельман И.И. Оперативая идентификация объектов управления / И. И. Перельман. – М.: Энергоиздат, 1982. – 272 с.

44. Черников А.Н. Управление технологическим процессом в хлопкопрядильном производстве / А. Н. Черников, А. С. Смирнов.– М.: РИО МГТА, 1999. – 24 с.

45. Слізков А. М. Застосування системного підходу до прогнозування властивостей текстильних ниток та виробів : повідомлення 1 / А. М. Слізков // Вісник КНУТД. – 2006. – №3. – С. 42–48.

46. Слізков А.М. Математичне моделювання систем прогнозування властивостями і якістю текстильних ниток та виробів з них : повідомлення 2 / А. М. Слізков // Вісник КНУТД. – 2006. – №4. – С. 17–24.

47. Слізков А.М. Застосування системного аналізу для вирішення практичних задач текстильного виробництва : повідомлення 3 / А. М. Слізков // Вісник КНУТД. – 2006. – №5. – С. 25-30.

48. Слізков А. М. Дослідження впливу параметрів процесів передпрядіння та прядіння на якісні характеристики рівниці та пряжі / А. М. Слізков, Д. В. Ребров // Вісник КНУТД. – 2005. – №5 (спец. випуск). – С.48–50.

49. Протасова В. А. Прядение шерсти и химических волокон : учебник [для вузов] / В. А. Протасова, Б. Е. Белышев, А. Ф. Капитанов. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 334 с.

50. Методы неразрушающих испытаний / Под ред. Р.Шарпа. Пер. с немецкого. – М.: Мир, 1972. – 494с.

51. Скрипник Ю. О. Вимірювач електрофізичних параметрів матеріалів / Ю. О. Скрипник, Т. П. Каламєєць // Вісник КНУТД. – 2005. – № 3. – С. 15–19.

52. Скрипник Ю. О. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ-діапазону : навч. посібник / Ю. О. Скрипник, В. П. Манойлов, О. П. Яненко. – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 374 с.

53. Пат. № 34897 Україна МПК G01N 33/36 Спосіб визначення властивостей текстильних матеріалів / А. О. Потапенко, А. М. Слізков, В. Ю. Щербань та ін.; заявник та патентовласник Київський національний ун-т технологій та дизайну. – № 200804141 ; заявка 20.04.2008 ; опубл. 26.08.2008, Бюл. №16.

54. Скрипник Ю. А. Контроль параметров технологических процессов в легкой промышленности / Ю. А. Скрипник, В. А. Дубровный, Б. А. Танюк – К. : Техніка, 1980. – 240 с.

55. Березненко М. П. Сертифікація систем якості та продукції в легкій промисловості / Березненко М. П., Савчук Н. Г., Березненко С. М. та ін. – К.: Логос, 1996. – 231с.

56. Контроль качества и сертификация в легкой промышленности: Толковый словар / [Н. П. Березненко, Н. Г. Савчук, Г. Г. Никитенко, И. И. Мигальцо, А. Я. Клименко]. – К. : Наук. думка, 1995 – 200 с.

57. Пугачевський Г. Ф. Методологічні засади формування показників якості текстильних матеріалів / Г Ф. Пугачевський., Н. І. Осипенко // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2005. – №2. – С.56–60.

58. Терновая Т. И. Оптимизация алгоритма оценки сортности тканей при автоматической разбраковке / Т. И. Терновая, С. А. Рожков // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2001. – №5. – С.329–330.

59. Савчук Н. Г. Квалітологія швейного виробництва: підруч. [для вищ.навч.закл.] / Н. Г. Савчук, М. П. Березненко, С. М. Березненко. – К.: Арістей, 2006. – 464 с.

60. Кирюхин С. М. Анализ и использование статистических моделей при нормировании, оценке и исследовании показателей качества тканей: дис... доктора техн.наук : 05.19.01 / Сергей Михайлович Кирюхин – М., 1977. – 356 с.

61. Перепелкин К. Е. Структура и свойства волокон / К. Е. Перепелкин. – М.: Химия, 1985. – 208 с.

62. Кобляков А. И. Структура и механические свойства трикотажа / А. И. Кобляков. – М.: Легкая индустрия, 1973. – 239 с.

63. Гущина К. Г. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества: [Справочник] / [К. Г. Гущина, С. А. Беляева, Е. Я. Командрикова и др.]. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 312 с.

64. Слизков А. Н. Камвольная пряжа сокращенного способа производства и ее свойства. Шерстяная промышленность : [обзорная информация] / А. Н. Слизков, Р. Д. Ефремов, Л. В. Данилейко.– М.: ЦНИИТЭИЛегпром, 1990. – №7. – 55 с.

65. Метод визначення здатності до текстильної переробки. Нитки високомодульні неорганічні та вуглецеві. (ГОСТ 30580-98) : ДСТУ 3673-97. – [Чинний від 1999.-03-19]. – К.: Держстандарт України, 1999. – 6 с. – (Національний стандарт України).

66. Полотна трикотажні. Метод визначення незминальності : ДСТУ 2994-95. –[Чинний від 1995-01-27] – К.: Держстандарт України, 1995. – 9 с. – (Національний стандарт України).

67. Щербань В. Ю. Математические модели в САПР оборудования и технологических процессов легкой и текстильной промышленности / В. Ю Щербань., О. И. Волков, Ю. Ю. Щербань. – К.: КНГУТД, 2003. – 588 с.

68. Щербаков В. П. Прикладная механика нити : учебное пособие / В. П. Щербаков. – М.: РИО МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2001. – 301 с.

69. Орловський Б. В. Основи побудови фізичних моделей механізмів і функціональних груп машин легкої промисловості / Б. В. Орловський, В. О. Пищиков, Н. С. Абрінова // Сучасні технології підготовки фахівців з інженерних спеціальностей: зб. наук. праць. – К., 2003. – С.97–101.

70. Корицкий К. И. Основы проектирования свойств пряжи / К. И. Корицкий. – М.: Гизлегпром, 1963. – 246 с.

71. Корицкий К. И. Инженерное проектирование текстильных материалов / К. И. Корицкий. – М.: Легкая индустрия, 1971. – 352 с.

72. Матуконис А. В. Производство, свойства и применение неоднородных нитей /А.В. Матуконис.– М.: Легпромбытиздат,1987. – 136 с.

73. Мартынова А. А. Строение и проектирование тканей / А. А. Мартынова и др. - М.: РИО МГТА им. А. Н. Косыгина, 1999. – 434 с.

74. Разумеев К. Э. Проектирование шерстяной гребенной ленты и пряжи на основе инструментального определения свойств немытой шерсти : монография / К. Э. Разумеев. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2005. – 246 с.

75. Дамянов Г. Б. Строение ткани и современные методы ее проектирования / Г. Б. Дамянов и др. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 240 с.

76. Павлов А. И. Строение и основные химико-физические свойства текстильных волокон : учебное пособие / А. И. Павлов. – К.: КТИЛП, 1982. – 93 с.

77. Варламова А. В. К вопросу моделирования процесса чесания волокнистых материалов / А. В. Варламова, А. С. Розанов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005. – №2. – С.57–58.

78. Борзунов Г. И. Информационная база автоматизированного проектирования тканей и технической подготовки их производства / Г. И. Борзунов, С. К. Оганесян, Б. А. Стрельников // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. –1986. – №1. – С. 3–6.

79. Храповый А. П. Принципы построения систем автоматического контроля качественных показателей ткани / А. П. Храповый, А. М. Бражник // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2001. – №5. – С. 326.

80. Афифи А. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ / А. Афифи, С. Эйзен. – М.: Мир, 1982 — 488 с.

81. Кендалл М. Дж., Статистические выводы и связи / М. Дж.Кендалл, А. С. Стьюарт. — М.: Наука, 1973 — 900 с.

82. Маленво Э. Статистические методы эконометрии / Э. Маленво. – М.: Статистика, 1976 – 323 с.

83. Демиденко Е. З. Линейная и нелинейная регрессия / Е. З. Демиденко – М.: Финансы и статистика, 1981. – 302 с.

84. Рао С. Линейные статистические методы и их применение / С. Рао. – М.: Наука, 1968. – 547 с.

85. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ / Дж. Себер. – М.: Мир, 1980 – 456 с.

86. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – Москва-Санкт-Петербург-Киев: Диалектика, 2007 – 912 с.

87. Елисеева И. И. Логика прикладного статистического анализа / И. И. Елисеева, В. О. Рукавишников. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 192 с.

88. Надарая Э. А. Об оценке регрессии / Э. А. Надарая // Теория вероятностей и ее применения. – 1964. – Т.9, вып. 1. – С. 157–159.

89. Надарая Э. А. О непараметрических оценках плотности вероятности и регрессии / Э. А. Надарая // Теория вероятностей и ее применения. – 1965. – Т. 10, вып. 1. – С. 199–203.

90. Watson G. S. Smooth regression Analisis / G. S. Watson // Sankhya,ser.A.. – 1964. – V. 26, N. 4. – P. 359-372.

91. Шустов Ю. С. Разработка методов прогнозирования строения и свойств текстильных материалов с использованием теории подобия и анализа размерностей: дис ... доктора техн. наук : 05.19.01 / Юрий Степанович. Шустов. – М., 2003. – 281 с.

92. Слізков А. М. Тлумачний словник з матеріалознавства та текстильних виробництв / А. М. Слізков, Р. В. Луцик. – К.: Арістей, 2004. – 304 с.

93. Луцик Р. В. Дослідження порової структури фільтрувальних тканин / Р. В. Луцик, А. М. Слізков // Вісник КНУТД.– 2004.– №1.– С.7–14.

94. Лоусон Ч., Хенсон Р. Численное решение задач метода наименьших квадратов / Ч. Лоусон, Р. Хенсон. – М.: Наука, 1986 – 230 с.

95. Райс Дж. Матричные вычисления и математическое обеспечение / Дж. Райс. – М.: Мир, 1984 – 264 с.

96. Ertel J. Some algorithms for liner spline and piecewice multiple liner regression / J. Ertel, E. Fowlkes // Journal of Amer.Statist. Assos. – 1976. – V, № 355. – P. 640–648.

97. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента / Ю. П. Адлер. – М.: Металургия, 1969. – 157 с.

98. Адлер Ю. П. Предпланирование эксперимента / Ю. П. Адлер. – М.: Знание, 1980. – 72 с.

99. Методы анализа даннях / [под ред. С.А. Айвазяна и В.М. Бухштабера]. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 357 с.

100. Александров В. В. Анализ данных на ЭВМ (на примере системы СИТО) / В. В. Александров, А. И. Алексеев, Н. Д. Горский. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 192 с.

101. Енюков И. С. Методы, алгоритмы, программы многомерного статистического анализа / И. С. Енюков. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 232 с.

102. САПР обладнання легкої та текстильної промисловості / [Щербань В. Ю., Щербань Ю. Ю., Колиско О. З., Матроніч В. І., Слізков А. М. та ін.]. – К.: КНУТД, 2007. – 275 с.

103. Программные и математические компоненты проектирующих подсистем технологических процессов, оборудования, свойств материалов легкой и текстильной промышленности : Монографія / В. Ю.Щербань, А. Н. Слизков, А. Б. Озадовский, Ю. Ю. Щербань. – К.: Конус-Ю, 2009. – 327с.

104. Монахов В. И. Модели и алгоритмы прогнозирования параметров шерстопрядильного производства в подсистеме управления качеством продукции: дис ...кандидата техн. наук : 05.19.01 / Владислав Иванович Монахов.– М., 1978. – 163 с.

105. Построение математических моделей процесса шерстопрядения алгоритмом локальной идентификации / М. Я. Цымбалюк [и др.] ; Легкая пром-ть. – М., 1987. – 8 с. – Деп. в ЦНИИТЭИлегпром 18.08.87, № 2098.

106. Кузьмич И. В. Применение методов локальной идентификации для моделирования процессов прядения / И. В. Кузьмич, М. Я. Цымбалюк // Современные технологии и оборудование текстильной промышленности (Текстиль – 99) : сб. науч. трудов. – М., 2000. – С. 28–29.

107. Цымбалюк М. Я. Диалоговая система управления качеством в шерстопрядении / М. Я. Цымбалюк, И. В. Кузьмич, А. Н. Пысин // Диалоговые информационные системы: сб. науч. трудов. – Иркутск, 1986. – С. 92-93.

108. Цымбалюк М. Я. Программа решения задач прогнозирования качества продукции в прядении / М. Я. Цымбалюк, И. В. Кузьмич, В. И. Монахов, А. Н. Пысин // Текстильная промышленность. – 1986. – № 9. – С. 72–73.

109. Цымбалюк М. Я. Программный комплекс управления качеством в технологии хлопкопрядения / М. Я. Цымбалюк, И. В. Кузьмич // Текстильная промышленность. – 1989. – №2. – С. 14–15.

110. Кузьмич И. В. Компьютерные методы адаптивной идентификации процессов технологии прядения с визуализацией даннях в среде VISUAL C++ / И. В. Кузьмич, П. А. Севостьянов // Компьютерные технологии в образовательной и научной деятельности: сб. науч. трудов. – М.: МГТУ, 2001. – С. 29–34.

111. Слізков А. М. Моделювання властивостей текстильних матеріалів з використанням інформаційних технологій : повідомлення 2 / А. М. Слізков, В. Ю. Щербань, В. П. Попов, О. Б. Демківський // Вісник КНУТД. – 2009. – №2. – С.28–35.

112. Монахов В. И. Особенности математического моделирования показателей качества в процессе шерстопрядения / В. И. Монахов, С. А. Проскуряков, С. В. Соболев, М. Я. Цымбалюк // Текстильная промышленность. – 1983. – № 1. – С.7–10.

113. Монахов В. И. Применение устойчивого метода оценивания в шертопрядильном производстве / В. И. Монахов, С. В. Соболев // Текстильная промышленность. – 1982. – № 3. – С.9–12.

114. Чепин Е. В. Разработка и исследование методики построения нелинейных регрессионных моделей для идентификации параметров объектов: дис. ... кандидата техн. наук : 01.03.02 / Евгений Витальевич Чепин. – М., 1982. – 168 с.

115. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Л. Льюнг. – М.: Наука, 1991. – 432 с.

116. Основы управления технологическими объектами / [под ред. Н. С. Райбмана]. – М.: Наука, 1978 – 440 с.

117. Слізков А. М. Методи теорії ідентифікації в системі прогнозування властивостей текстильних матеріалів / А. М. Слізков, В. Ю. Щербань, М. С. Красницький // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины : між нар. наук.-техн. конф. : тези допов. – 2008. – № 1 (14). – С.170–171.

118. Слізков А. М. Застосування принципів ідентифікації в системі прогнозування властивостей текстильних матеріалів / А. М. Слізков, В. Ю Щербань., М. С. Красницький // Вісник КНУТД. – 2008. – №5 (спец. випуск). – С.191–198.

119. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления / П. Эйкхофф. – М.: Мир, 1975. –683 с.

120. Дисперсионная идентификация / [под ред. Н.С. Райбмана]. – М.: Наука, 1981. – 464 с.

121. Цыпкин Я. З. Основы информационной теории идентификации / Я. З. Цыпкин– М.:Наука, 1984. – 320 с.

122. Фишер Ф. Проблема идентификации в эконометрии / Ф. Фишер. – М.: Статистика, 1978. – 224 с.

123. Сергиенкова Е. В. Идентификация объектов управления с использованием методов смещенного оценивания: дис. ... кандидата техн. наук : 01.03.02 / Елена Владимировна Сергиенкова – М., 1978. – 147 с.

124. Кузьмич И. В. Исследование методов локальной идентификации для автоматизации управления процессами прядильного производства: Дис…на канд.техн.наук. 05.19.03 / Ирина Васильевна Кузьмич.– М. МГТУ,2001. – 240 с.

125. Лобов Г. С. Методы обработки разнотипных экспериментальных данных / Г. С. Лобов. – Новосибирск, 1981. – 160 с.

126. Райбман Н. С. Адаптивные модели в системах управления / Н. С. Райбман, В. М. Чадеев. – М.: Сов. Радио, 1966. – 108 с.

127. Чаки Ф. Современная теория управления. Нелинейные, оптимальные и адаптивные системы / Ф.Чаки ; [пер. с англ. под ред. Н.С. Райбмана]. – М.: Мир, 1975. – 424с.

128. Касавин А. Д. Адаптивные алгоритмы кусковой аппроксимации в задаче идентификации / А. Д. Касавин // Автоматика и телемеханика. – 1972. – № 12. – С.98–104.

129. Котюков В. И. О возможном подходе к непараметрическому оцениванию качества сложных моделей прогнозирования / В. И. Котюков [в кн.: Адаптивные системы и их приложения]. – Новосибирск, 1978 – 191 с.

130. Завьялов Ю. С. Методы сплайн-функций / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошниченко. – М.: Наука, 1980. – 352 с.

131. Wold S. Spline functions in data analysis / S. Wold // Technometrics. – 1974. – V. 16, №1. – P. 1–11.

132. Розин Б. Б. Экономико-статистические модели с переменной структурой / Б. Б. Розин, В. И. Котюков, М. А. Ягольницер. – Новосибирск: Наука, 1984. – 251 с.

133. Катковник В. Я. Непараметрическая идентификация и сглаживание данных / В. Я. Катковник. – М.: Наука, 1985. – 336 с.

134. Котюков В. И. Многофакторные кусково-линейные модели / В. И. Котюков. - М.: Финансы и статистика, 1984. - 216 с.

135. Гитис В. Г. Алгоритмы прогнозирования и синтеза признаков с использованием одномерных кусково-линейных функцій / В. Г. Гитис [в кн. : Нелинейные и линейные методы в распозновании образов].– М.: Наука, 1975. –157с.

136. Бауман Е. В. Сведение задачи кусково-линейной аппроксимации к задаче автоматической классификации. / Е. В. Бауман [в кн.: Моделирование и оптимизация сложных систем управления] . – М.: Наука, 1981. – 272 с.

137. Перельман И. И. Идентификация объекта методом ступенчатой аппроксимации / И. И. Перельман, О. А. Поляков // Автоматика и телемеханика. – 1968. – № 10. – С. 155–167.

138. Райбман Н. С. Идентификация технологических объектов методами кусковой аппроксимации / Н. С. Райбман, А. А. Дорофеюк, А. Д. Касавин. – М.: Ин.-т проблем управления, 1977 – 70 с.

139. Бородюк В.П. Статистическое писание промышленных объектов / В. П. Бородюк, Э. К. Лецкий. – М.: Энергия, 1971. – 111с.

140. Howking D. On the choice of segments in piecewise approximation / D. Howking // Jounal of the Institute of mathematics and its applications. – 1972. – V.9, N 2. – P. 781–783.

141. Расгригин Л. А. Метод коллективного распознования / Л. А. Расгригин, Р. Х.. Эренштейн. – М: Энергоиздат, 1981. – 79 с.

142. Плюта В. Н. Сравнительный многомерный анализ в эконометрическом моделировании / В. Н. Плюта. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 175 с.

143. Экономико-статистическое моделирование / [под ред. Б. Б Розина]. – Новосибирск: Наука, 1977. – 239 с.

144. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / [под ред. В. Н. Вапника.] – М.: Наука, 1984. – 816 с.

145. Джонстон Дж. Эконометрические методы / Дж. Джонстон. – М: Статистика, 1980 – 446 с.

146. Мердок Дж. Контрольные карты / Дж. Мердок. – М.: Финансы и статистика, 1986 – 150 с.

147. Мостеллер Ф. Анализ данных и регрессия : в 2 т. / Ф. Мостеллер, Дж. Тьюки. – М.: Финансы и статистика, 1982. – Т.1. 1982. – 320 с.

148. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: исследование зависимостей. - М.: Финансы и статистика, 1985. - 487 с.

149. Слізков А. М. Стохастичні задачі в досліджені зміни властивостей текстильних матеріалів / А. М. Слізков, В. Ю. Щербань, М. С. Красницький // Вісник ХНУ. – 2008. – №6. – С. 194–197.

150. Векторні випадкові величини і випадкові процеси. Елементи теорії та деякі застосування / [Краснитський С. М., Щербань В. Ю., Щербань Ю. Ю. та ін.]. – К.: Вид.-поліграф. центр «Бумсервіс», 2008. – 189 с.

151. Классификация и кластер. Труды научного семинара, г. Медисон. - М.: Мир, 1980.- 389 с.

152. Слізков А.М. Теоретичні основи побудови математичної моделі властивостей текстильних матеріалів: Повідомлення 1 / А. М. Слізков, В. Ю. Щербань, О. Б. Демківський, Т. І. Демківська // Вісник КНУТД. – 2009. – №1. – С. 36–41.

153. Гадомский А. Л. Система экспресс анализа качественных показателей текстильных материалов / А. Л. Гадомский, Р. С. Куцак, К. В. Тимофеев // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2001. – №5. – С.331.

154. Слізков А. М. Обґрунтування методу оцінки ефективності системи прогнозування властивостей текстильної продукції / А. М. Слізков, Р .В. Луцик // Вісник ХНТУ. – 2007. – №5. – Т.1. – С. 228–232.

Додаток А

Додаток А.1.1

Показники якості волокнистих продуктів чистововняної пряжі (Ч/В)

		Показники якості	Од. вимір.
1. Волокна та жмутки (Волокниста маса - підготовчий відділок)			
1	X_1	Довжина волокна	*мм*
2	X_2	Діаметр (тонина) волокна	*мкм*
3	X_3	Питоме розривальне навантаження волокна	*сН/мтекс*
4	X_4	Лінійна густина волокна	*мтекс*
5	X_5	Поверхнева густина жмутків *до тіпання*	*г/см²*
6	X_6	Нерівнота за поверхневою густиною жмутків	*%*
2. Жмутки після тіпання (волокниста маса - тіпальний відділок)			
7	X_7	Поверхнева густина жмутків *після тіпання*	*г/см²*
8	X_8	Нерівнота за поверхневою густиною жмутків	*%*
3. Чесана стрічка (Чесальний відділок)			
9	X_9	Лінійна густина чесаної стрічки	*ктекс*
10	X_{10}	Нерівнота чесаної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
11	X_{11}	Ступінь розпрямлення волокон	-
12	X_{12}	Дефекти (*число мушок*)	*шт./г*
13	X_{13}	Довжина волокна (ср)	*мм*
4. Стрічка (1-й стрічковий перехід)			
14	X_{14}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
15	X_{15}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
16	X_{16}	Ступінь розпрямлення волокон	-
17	X_{17}	Витяжка (*загальна*)	-
18	X_{18}	Число складень	-
5. (2-й стрічковий перехід)			
19	X_{19}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
20	X_{20}	Нерівнота стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
21	X_{21}	Ступінь розпрямлення волокон	-
22	X_{22}	Витяжка (*загальна*)	-
23	X_{23}	Число складень	-
6. Гребінна стрічка після 1-го гребенечесання			
24	X_{24}	Лінійна густина чесаної стрічки	*ктекс*
25	X_{25}	Нерівнота за лінійною густиною стрічки	*%*
26	X_{26}	Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон	-
27	X_{27}	Витяжка (*загальна*)	-
28	X_{28}	Число складень	-

7. Стрічка (стрічковий перехід)			
29	X_{29}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
30	X_{30}	Нерівнота стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
31	X_{31}	Ступінь розпрямлення волокон	-
32	X_{32}	Витяжка (*загальна*)	-
33	X_{33}	Число складень	-
34	X_{34}	Дефекти (*число мушок*)	*шт./г*
35	X_{35}	Довжина волокна	*мм*
8. Стрічка після фарбування			
36	X_{36}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
37	X_{37}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
38	X_{38}	Ступінь розпрямлення волокон	-
39	X_{39}	Витяжка (*загальна*)	-
40	X_{40}	Число складень	-
9. Стрічка (1 - стрічковий перехід)			
41	X_{41}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
42	X_{42}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
43	X_{43}	Ступінь розпрямлення волокон	-
44	X_{44}	Витяжка (*загальна*)	-
45	X_{45}	Число складень	-
10. (2-й стрічковий перехід			
46	X_{46}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
47	X_{47}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
48	X_{48}	Ступінь розпрямлення волокон	-
49	X_{49}	Витяжка (*загальна*)	-
50	X_{50}	Число складень	-
11. Гребінна стрічка після 2-го гребенечесання ((1-й стрічковий перехід)			
51	X_{51}	Лінійна густина чесаної стрічки	*ктекс*
52	X_{52}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	%
53	X_{53}	Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон	-
54	X_{54}	Витяжка (*загальна*)	-
55	X_{55}	Число складень	-
12. Стрічка (1-й стрічковий перехід)			
56	X_{56}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
57	X_{57}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
58	X_{58}	Ступінь розпрямлення волокон	-
59	X_{59}	Витяжка (*загальна*)	-
60	X_{60}	Число складень	-
61	X_{61}	Дефекти (*число мушок*)	*шт./г*
62	X_{62}	Довжина волокна	*мм*

13. (2-й стрічковий перехід)			
63	X_{63}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
64	X_{64}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
65	X_{65}	Ступінь розпрямлення волокон	-
66	X_{66}	Витяжка (*загальна*)	-
67	X_{67}	Число складень	-
14. Стрічка для рівниці (1-й стрічковий перехід)			
68	X_{68}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
69	X_{69}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
70	X_{70}	Ступінь розпрямлення волокон	-
71	X_{71}	Витяжка (*загальна*)	-
72	X_{72}	Число складень	-
15. (2-й стрічковий перехід)			
73	X_{73}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
74	X_{74}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
75	X_{75}	Ступінь розпрямлення волокон	-
76	X_{76}	Витяжка (*загальна*)	-
77	X_{77}	Число складень	-
16. (3-й стрічковий перехід)			
78	X_{78}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
79	X_{79}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
80	X_{80}	Ступінь розпрямлення волокон	-
81	X_{81}	Витяжка (*загальна*)	-
82	X_{82}	Число складень	-
17. (4-й стрічковий перехід)			
83	X_{83}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
84	X_{84}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
85	X_{85}	Ступінь розпрямлення волокон	-
86	X_{86}	Витяжка (*загальна*)	-
87	X_{87}	Число складень	-
18. Рівниця			
88	X_{88}	Лінійна густина рівниці	*ктекс*
89	X_{89}	Нерівнота рівниці (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
90	X_{90}	Ступінь розпрямлення волокон	-
91	X_{91}	Відносне розривальне навантаження	*мН/текс*
92	X_{92}	Коефіцієнт крутіння рівниці	-
93	X_{93}	Коефіцієнт варіації за крутінням	*%*
94	X_{94}	Витяжка (*загальна*)	-
95	X_{95}	Дефекти (*скритих джгутів на 300 м*)	*шт*

19. Пряжа			
96	X_{96}	Лінійна густина пряжі	*ктекс*
97	X_{97}	Нерівнота пряжі (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
98	X_{98}	Ступінь розпрямлення волокон	-
99	X_{99}	Відносне розривальне навантаження пряжі	*мН/текс*
100	X_{100}	Коеф. крутіння пряжі	-
101	X_{101}	Коеф. варіації за крутінням	*%*
102	X_{102}	Видовження при розриванні	*%*
103	X_{103}	Витяжка (*загальна*)	-
104	X_{104}	Дефекти (*джгути на 5000 м*)	*шт*
20. Кручена пряжа			
105	X_{105}	Лінійна густина пряжі	*текс*
106	X_{106}	Нерівнота крученої пряжі (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
107	X_{107}	Ступінь розпрямлення волокон	-
108	X_{108}	Відносне розривальне навантаження пряжі	*мН/текс*
109	X_{109}	Видовження при розриванні	%
110	X_{110}	Коефіцієнт крутіння пряжі	-
111	X_{111}	Коефіцієнт варіації за крутінням	*%*
112	X_{112}	Дефекти (*джгути на 5000 м*)	*шт*
21. Сирова тканина			
113	X_{113}	Поверхнева густина сирової тканини	*г/м²*
114	X_{114}	Лінійна густина сирової тканини	*г/м*
115	X_{115}	Розривальне навантаження сирової тканини по основі	*Н*
116	X_{116}	Розривальне навантаження сирової тканини по утоку	*Н*
117	X_{117}	Розривальне видовження сирової тканини по основі	*мм*
118	X_{118}	Розривальне видовження сирової тканини по утоку	*мм*
119	X_{119}	Ширина	*см*
22. Готова тканина			
120	X_{120}	Поверхнева густина готової тканини	*г/м²*
121	X_{121}	Лінійна густина готової тканини	*г/м*
122	X_{122}	Розривальне навантаження готової тканини по основі	*Н*
123	X_{123}	Розривальне навантаження готової тканини по утоку	*Н*
124	X_{124}	Розривальне видовження готової тканини по основі	*мм*
125	X_{125}	Розривальне видовження готової тканини по утоку	*мм*
126	X_{126}	Зміна лінійних розмірів тканини по основі	*%*
127	X_{127}	Зміна лінійних розмірів тканини по утоку	*%*
128	X_{128}	Коефіцієнт зминальності тканини	*%*
129	X_{129}	Стійкість до тертя тканини	*цикли*
130	X_{130}	Пілінгування тканини	*пілі/см²*

Додаток А.1.2

Структури баз даних волокнистих продуктів чистововняної пряжі (Ч/В)

№	Назва продукту	Фактори
1	***Волокна та жмутки - сировина*** *(Волокниста маса - підготовчий відділок)*	X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6
2	***Жмутки після тіпання***	X_7, X_8
3	***Чесана стрічка***	X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}
4	***(1-й** стрічковий перехід**)***	X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}
5	***(2-й** стрічковий перехід**)***	X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}
6	***Гребінна стрічка після 1-го гребенечесання*** *(стрічковий перехід)*	X_{24}, X_{25}, X_{26}, X_{27}, X_{28}, X_{29}, X_{30}
7	***Стрічка після фарбування***	X_{31}, X_{32}, X_{33}, X_{34}, X_{35}
8	***Стрічка для вирівняння*** ***(1-й)*** *стрічковий перехід*	X_{36}, X_{37}, X_{38}, X_{39}, X_{40}
9	***Стрічка для вирівняння*** ***(2-й)*** *стрічковий перехід*	X_{41}, X_{42}, X_{43}, X_{44}, X_{45},
10	***Гребінна стрічка після 2-го гребенечесання (1-й*** *стрічковий перехід)*	X_{45}, X_{47} X_{48}, X_{49}, X_{50}, X_{51}, X_{52}
11	***Стрічка для вирівняння*** ***(2-й*** *стрічковий перехід)*	X_{53}, X_{54}, X_{55}, X_{56}, X_{57}
12	***Стрічка для рівниці*** ***(3-й*** *стрічковий перехід)*	X_{58}, X_{59}, X_{60}, X_{61}, X_{62}
13	***Стрічка для рівниці*** ***(4-й*** *стрічковий перехід)*	X_{63} X_{64} X_{65} X_{66} X_{67}
14	***Стрічка для рівниці*** ***(3-й*** *стрічковий перехід)*	X_{68} X_{69} X_{70} X_{71} X_{72}
15	***Стрічка для рівниці*** ***(4-й*** *стрічковий перехід)*	X_{73}, X_{74}, X_{75}, X_{76}, X_{77}
16	***Рівниця***	X_{78}, X_{79}, $X_{80,}$ X_{81}, X_{82}, X_{83}, X_{84}, X_{85}
17	***Пряжа***	X_{86}, X_{87}, X_{88}, X_{89}, X_{90}, X_{91}, $X_{92,}$ X_{93}, X_{94}
18	***Кручена пряжа***	X_{95}, X_{96}, X_{97}, X_{98}, X_{99}, X_{100}, $X_{101,}$ X_{102}
19	***Сирова тканина***	X_{103}, X_{104}, X_{105}, X_{106}, X_{107}, X_{108}, $X_{109,}$ X_{110}, X_{111}
20	***Готова тканина***	X_{112}, X_{113}, X_{114}, X_{115}, X_{116}, X_{117}, $X_{118,}$ X_{119}, $X_{120,}X_{121}$, X_{122}, $X_{123,}$ X_{124}, X_{125}

Бази даних (*Ч/В*)

1. Волокна та жмутки (*до тіпання*)

	X_1	X_2	X_3	X_4,	X_5	X_6
1	59,1	23	7,62	512,9	0,79	105
2	58,9	22,7	7,54	540,6	0,795	107
3	60,8	23,5	7,57	512,2	0,801	103
4	61,1	23,3	7,59	533,3	0,81	106
5	59,6	23,1	7,52	524,6	0,795	96,5
6	58,9	23,4	7,56	548,5	0,775	107
7	59,6	22,8	7,44	549,4	0,74	104
8	60,2	22,7	7,42	524,1	0,807	103
9	59,4	22,9	7,32	544,2	0,772	98,5
10	60,2	22,6	7,43	548,2	0,796	99,8
11	60,4	23,5	7,54	553,4	0,79	96,5
12	59,6	23,6	7,56	543,6	0,81	107
13	58,4	23,7	7,57	522,8	0,775	96,5
14	59,8	24,1	7,67	534,3	0,74	107
15	60,4	23,9	7,54	536,2	0,81	96,5
16	61	24,3	7,62	543,4	0,785	105
17	59,6	24,2	7,64	534,3	0,79	98,5
18	60,6	21,5	7,34	544,6	0,795	98,6
19	58,4	24,5	7,68	543,9	0,709	106
20	58,4	24,5	7,68	534,2	0,775	99,8
21	58,4	24,5	7,68	527,4	0,793	103
22	60,6	21,5	7,32	512,9	0,807	103
23	60,6	21,5	7,33	534,7	0,787	107

2. Жмутки після тіпання

	$Y_1(X_7)$	$Y_2(X_8)$
1	0,101	97,7
2	0,101	102
3	0,101	101
4	0,101	107
5	0,09	103
6	0,101	97,1
7	0,101	97,7
8	0,098	98,5
9	0,096	99,7
10	0,097	97,2
11	0,091	101
12	0,101	107
13	0,091	103
14	0,101	98,2
15	0,09	101
16	0,101	99,7
17	0,096	102
18	0,096	105
19	0,101	97,1
20	0,097	97,7
21	0,101	98,5
22	0,101	102
23	0,101	101

3. Чесана стрічка

	Y_1 (X_9)	Y_2 (X_{10})	Y_3 (X_{11})	X_{12}	X_{13}
1	22,09	3	0,65	21	58,5
2	22,19	2,8	0,61	20,4	58,7
3	21,79	2	0,65	21	60,4
4	21,87	2,2	0,62	18,9	59,6
5	21,93	2,3	0,63	22,3	58,8
6	22,1	2,9	0,61	20,4	58,7
7	21,63	3	0,64	19,5	59,2
8	22,11	2,6	0,62	18,9	59,6
9	22,23	1,9	0,63	22,3	58,8
10	22,29	1,9	0,64	19,5	59,6
11	22,6	4,8	0,62	18,9	59,6
12	22,4	3,5	0,61	20,4	58,7
13	22,02	2,2	0,65	21	58,3
14	21,89	1,6	0,62	18,9	59,4
15	22,06	2	0,63	22,3	58,8
16	21,99	3,7	0,61	20,4	58,7
17	22,15	2,8	0,61	20,4	58,7
18	22,2	2,1	0,64	19,5	60,6
19	21,98	1,4	0,65	21	58,1
20	21,96	1,8	0,63	22,3	58,1
21	22,01	2,2	0,61	20,4	58,1
22	21,9	2,5	0,63	22,3	58,8
23	22,36	0,8	0,61	20,4	58,7

4. Стрічка для вирівнювання,
1-й перехід

	Y_1 (X_{14})	Y_2 (X_{15})	Y_3 (X_{16})	X_{17}	X_{18}
1	30	2	0,67	8,8	12
2	30	2,4	0,67	8,9	12
3	30,9	2,1	0,66	8,5	12
4	30,9	1,5	0,67	8,5	12
5	30,4	1,9	0,65	8,6	12
6	30,4	2,3	0,66	8,7	12
7	30,1	2,1	0,67	8,6	12
8	29,9	1,8	0,65	8,9	12
9	30	2,2	0,66	8,9	12
10	30,2	1,9	0,65	8,9	12
11	30,1	7	0,67	9	12
12	29,9	3,2	0,65	9	12
13	30	2,3	0,65	8,8	12
14	30,1	1,5	0,66	8,7	12
15	30,4	2	0,65	8,7	12
16	30,4	1,9	0,66	8,7	12
17	30,1	1,4	0,67	8,8	12
18	30,3	1,8	0,67	8,8	12
19	30,7	2	0,67	8,6	12
20	30,6	0,9	0,65	8,6	12
21	30,7	1,1	0,66	8,6	12
22	30,4	1,8	0,65	8,7	12
23	30,2	1,6	0,66	8,9	12

5. Стрічка для вирівнювання,
2-й перехід

	Y_1 (X_{19})	Y_2 (X_{20})	Y_3 (X_{21})	X_{22}	X_{23}
1	30,03	2,9	0,7	5,992	6
2	30,08	2,4	0,71	5,974	6
3	30,72	1,9	0,71	6,029	6
4	30,38	1,7	0,7	6,095	6
5	30,47	1,6	0,71	5,992	6
6	30,42	1,5	0,7	5,986	6
7	30,02	2,2	0,71	6,014	6
8	29,93	1,9	0,71	5,992	6
9	30,04	2,1	0,7	5,994	6
10	30,21	1,7	0,7	5,996	6
11	30,4	5,5	0,71	5,941	6
12	30,05	3,1	0,72	5,978	6
13	30,43	2	0,7	5,913	6
14	30,35	1,9	0,71	5,951	6
15	29,98	2,2	0,7	6,092	6
16	30,28	2,2	0,71	6,024	6
17	30,27	1,7	0,7	5,96	6
18	30,12	2	0,7	6,044	6
19	30,5	1,3	0,71	6,045	6
20	30,41	1,1	0,7	6,039	6
21	30,45	0,8	0,7	6,041	6
22	30,14	1,7	0,7	6,044	6
23	29,78	2,8	0,71	6,089	6

6. Гребінна стрічка після 1-го гребенечесання
(*стрічковий перехід*)

	$Y_1(X_{24})$	$Y_2(X_{25})$	$Y_3(X_{26})$	X_{27}	X_{28}	X_{29}	X_{30}
1	26,1	2,4	0,77	8,066	7	8,5	61,8
2	25,9	2,2	0,79	8,127	7	8,1	69,9
3	25,9	2,4	0,79	8,309	7	8,1	69,9
4	25,6	3	0,77	8,307	7	8,5	61,8
5	25,6	2,1	0,79	8,319	7	8,1	69,9
6	25,8	1,9	0,77	8,25	7	8,5	61,8
7	25,6	2,3	0,79	8,218	7	8,1	69,9
8	25	1,4	0,79	8,394	7	8,1	69,9
9	25,8	2,6	0,77	8,147	7	8,5	61,8
10	26,1	2,1	0,77	8,099	7	8,5	61,8
11	26,1	7,4	0,79	8,153	7	8,5	61,8
12	26	3,1	0,77	8,09	7	8,5	61,8
13	25,9	2,6	0,77	8,218	7	8,5	61,8
14	26	2,3	0,79	8,187	7	8,1	69,9
15	26	2	0,77	8,078	7	8,5	61,8
16	25,9	2	0,79	8,174	7	8,1	69,9
17	25,9	2,2	0,77	8,191	7	8,1	69,9
18	26,1	1,9	0,77	8,084	7	8,1	69,9
19	26	2,1	0,79	8,215	7	8,5	61,8
20	25,9	1,7	0,77	8,206	7	8,5	61,8
21	26	1,7	0,79	8,185	7	8,1	69,9
22	25,9	2,7	0,77	8,146	7	8,1	69,9
23	26,4	2	0,79	7,908	7	8,5	61,8

7. Стрічка після фарбування

	Y_1 (X_{31})	Y_2 (X_{32})	Y_3 (X_{33})	X_{34}	X_{35}
1	30,1	2,3	0,78	6,933	8
2	30,2	1,9	0,79	6,868	8
3	30,6	1,6	0,77	6,768	8
4	30,7	1,7	0,77	6,675	8
5	30,5	1,8	0,79	6,727	8
6	30,5	2,9	0,78	6,781	8
7	29,8	2,6	0,77	6,871	8
8	30	1,9	0,77	6,663	8
9	30,1	1,6	0,77	6,86	8
10	30,1	2	0,78	6,942	8
11	30,1	4,9	0,77	6,932	8
12	29,8	3,2	0,77	6,973	8
13	30,2	1,8	0,77	6,857	8
14	29,9	2,1	0,79	6,943	8
15	30,3	1,7	0,78	6,871	8
16	30,1	1,9	0,77	6,892	8
17	30,3	1,8	0,79	6,824	8
18	30	2,5	0,77	6,964	8
19	22,1	1,8	0,77	9,421	8
20	22,2	1,7	0,79	9,331	8
21	22,1	1,7	0,78	9,418	8
22	29,9	2,7	0,79	6,939	8
23	29,9	1,3	0,78	7,062	8

8. Стрічка для вирівнювання

1-й стрічковий перехід

	Y_1 (X_{36})	Y_2 (X_{37})	Y_3 (X_{38})	X_{39}	X_{40}
1	26,5	4,5	0,83	9,1	8
2	29,5	2,4	0,81	8,2	8
3	26,5	4,5	0,83	9,2	8
4	29,5	2,4	0,81	8,3	8
5	26,5	4,5	0,83	9,2	8
6	29,5	2,4	0,81	8,2	8
7	30,3	1,5	0,81	7,9	8
8	30,3	1,5	0,81	7,9	8
9	30,2	2	0,82	8	8
10	30	1,6	0,83	8	8
11	30,2	1,8	0,81	8	8
12	26,5	4,5	0,83	9	8
13	29,5	2,4	0,81	8,2	8
14	26,5	4,5	0,83	9	8
15	29,5	2,4	0,81	8,2	8
16	26,5	4,5	0,83	9,1	8
17	29,5	2,4	0,81	8,2	8
18	30,3	1,5	0,81	7,9	8
19	30,3	1,5	0,81	5,8	8
20	30,2	2	0,82	5,9	8
21	30	1,6	0,83	5,9	8
22	30,2	2	0,82	7,9	8
23	30	1,6	0,83	8	8

9. Стрічка для вирівнювання
2-й стрічковий перехід

	Y_1 (X_{41})	Y_2 (X_{42})	Y_3 (X_{43})	X_{44}	X_{45}
1	16	3,6	0,78	4,96125	3
2	16	3,3	0,76	5,55263	3
3	15,9	3	0,78	5,00504	3
4	15,9	1,7	0,79	5,57358	3
5	15,9	2,8	0,77	5,00189	3
6	16	4,6	0,76	5,52838	3
7	16,1	3	0,78	5,64366	3
8	16,1	3,5	0,79	5,62616	3
9	16	2,9	0,77	5,67167	3
10	15,9	4,4	0,78	5,65138	3
11	15,7	3,4	0,79	5,77055	3
12	15,9	2,5	0,76	4,98618	3
13	15,8	3,2	0,79	5,5947	3
14	15,9	2,7	0,77	4,97992	3
15	15,9	3,2	0,76	5,56309	3
16	15,9	3,3	0,76	4,98305	3
17	15,9	3,5	0,78	5,57709	3
18	16	1,8	0,79	5,67897	3
19	16,1	2,6	0,77	5,64366	3
20	16,2	1,3	0,76	5,60853	3
21	16	1,9	0,77	5,63369	3
22	15,8	2	0,76	5,75444	3
23	16	3,2	0,78	5,6091	3

10. Гребінна стрічка після 2-го гребенечесання
(1 - стрічковий перехід)

	X_{46}	X_{47}	X_{48}	X_{49}	X_{50}	X_{51}	X_{52}
1	22,24	2,88	0,75	6,295	7		
2	22,08	1,51	0,74	6,341	7		
3	22	2,69	0,75	5,767	7		
4	22	2,29	0,77	5,782	7		
5	21,95	1,72	0,75	5,784	7		
6	21,9	1,91	0,75	5,856	7		
7	22,19	2,09	0,76	5,797	7		
8	21,87	2,5	0,76	5,9	7		
9	22,1	2,93	0,75	5,788	7		
10	22	1,78	0,75	5,789	7		
11	22,37	7,69	0,77	5,611	7		
12	22,19	3,15	0,74	5,74	7		
13	21,96	2,21	0,77	5,77	7		
14	22,04	2,13	0,75	5,786	7		
15	22,01	1,26	0,74	5,79	7		
16	21,97	3,08	0,75	5,801	7		
17	22,06	2,25	0,76	5,762	7		
18	22,3	1,1	0,76	5,733	7		
19	22,29	1,44	0,75	5,771	7		
20	22,09	1,37	0,74	5,856	7		
21	22,1	1,62	0,75	5,781	7		
22	22,32	1,24	0,73	5,649	7		
23	22,4	2,6	0,75	5,729	7		

11. Стрічка для вирівнювання
2-й стрічковий перехід

	Y_1 (X_{53})	Y_2 (X_{54})	Y_3 (X_{55})	X_{56}	X_{57}
1	22,2	3,1	0,82	7	7
2	21,9	2,5	0,8	7	7
3	22,2	2	0,82	6,9	7
4	22	1,3	0,81	7	7
5	21,9	2,2	0,83	7	7
6	21,8	1,4	0,8	7	7
7	21,9	2,7	0,82	7,1	7
8	22,1	2,4	0,81	6,9	7
9	22,2	2	0,83	7	7
10	22,1	2,7	0,82	7	7
11	22,1	7,2	0,81	7,1	7
12	21,9	2,2	0,8	7,1	7
13	22	3,8	0,81	7	7
14	21,9	2,6	0,83	7	7
15	22,2	2,1	0,8	6,9	7
16	22,2	2,6	0,83	6,9	7
17	21,9	2,7	0,8	7,1	7
18	22,1	2,1	0,82	7,1	7
19	22,2	1,7	0,81	7	7
20	22,1	2,1	0,83	7	7
21	22	1,6	0,81	7	7
22	22	1,5	0,83	7,1	7
23	22	2,8	0,8	7,1	7

12. Стрічка для рівниці
(1-й стрічковий перехід)

	Y_1 (X_{58})	Y_2 (X_{59})	Y_3 (X_{60})	X_{61}	X_{62}
1	24	2,5	0,86	7,377	8
2	24,1	2,6	0,87	7,271	8
3	24	1,9	0,86	7,391	8
4	23,9	2,1	0,86	7,377	8
5	24	2,2	0,85	7,29	8
6	23,9	2	0,87	7,296	8
7	24,1	2	0,86	7,254	8
8	24	2,3	0,86	7,389	8
9	34,2	2,4	0,85	5,189	8
10	24,2	2,3	0,86	7,328	8
11	23,8	3,9	0,86	7,422	8
12	24,1	2,1	0,87	7,25	8
13	23,9	2	0,86	7,345	8
14	24,2	1,6	0,85	7,261	8
15	24	2,2	0,87	7,41	8
16	24	2,9	0,86	7,39	8
17	24,1	1,6	0,86	7,269	8
18	24,2	0,9	0,85	7,331	8
19	24,1	1,2	0,87	7,375	8
20	24,1	1,4	0,87	7,345	8
21	23,7	1,8	0,86	7,432	8
22	24,2	1,7	0,86	7,26	8
23	24,3	2,4	0,86	7,255	8

13. Стрічка для рівниці
(2-й стрічковий перехід)

	Y_1 (X_{63})	Y_2 (X_{64})	Y_3 (X_{65})	X_{66}	X_{67}
1	24,1	2,7	0,91	7,977	8
2	24	2,6	0,9	8,04	8
3	23,9	1,8	0,91	8,057	8
4	24,1	1,6	0,92	7,924	8
5	24	1,5	0,89	8	8
6	24,1	2,4	0,9	7,943	8
7	23,9	2,4	0,91	8,097	8
8	24,3	1,7	0,92	7,898	8
9	24	2,1	0,89	11,36	8
10	24,1	2,4	0,91	8,02	8
11	23,8	3	0,92	7,99	8
12	23,9	2,8	0,9	8,07	8
13	24	2,4	0,92	7,993	8
14	24,4	2,4	0,89	7,934	8
15	24	2,2	0,9	7,987	8
16	24,1	1,6	0,92	7,98	8
17	24,3	1,8	0,89	7,911	8
18	23,9	1,7	0,9	8,094	8
19	24,1	2	0,91	7,99	8
20	24,1	1,2	0,92	7,973	8
21	23,9	1,3	0,89	7,92	8
22	23,9	1,2	0,92	8,1	8
23	23,9	1,5	0,89	8,114	8

14. Стрічка для рівниці
(3-й стрічковий перехід)

	Y_1 (X_{68})	Y_2 (X_{69})	Y_3 (X_{70})	X_{71}	X_{72}
1	12	5,1	0,93	8,121	4
2	12	3,8	0,91	7,931	4
3	12	4	0,94	7,901	4
4	12	5,2	0,95	7,924	4
5	12	3,7	0,92	7,97	4
6	12	4	0,93	7,997	4
7	12	4,8	0,94	8,03	4
8	12	4,6	0,94	8,224	4
9	12	4,8	0,92	7,98	4
10	12	2,8	0,93	7,937	4
11	12	6	0,95	7,75	4
12	12	2,8	0,93	7,81	4
13	12	3,8	0,93	7,98	4
14	12	4,5	0,92	8,09	4
15	12	3,6	0,92	7,901	4
16	12	5,1	0,94	7,983	4
17	12	3,5	0,92	7,987	4
18	12	2,6	0,92	7,842	4
19	12	2,9	0,93	7,977	4
20	12	2,2	0,94	8,007	4
21	12	2,5	0,91	7,894	4
22	12	3,4	0,94	7,993	4
23	12	3,2	0,91	7,921	4

15. Стрічка для рівниці
(4-й стрічковий перехід)

	Y_1 (X_{73})	Y_2 (X_{74})	Y_3 (X_{75})	(Y_4) X_{76}	X_{77}
1	5,89	6,47	0,97	8,061	4
2	6,08	5,79	0,96	7,967	4
3	6,02	6,21	0,97	8,027	4
4	5,87	6,07	0,97	8,293	4
5	5,99	8,08	0,98	8,04	4
6	6,1	7,17	0,96	7,889	4
7	5,99	8,64	0,97	7,933	4
8	5,92	10,6	0,97	7,973	4
9	6,16	8,39	0,98	7,825	4
10	5,87	9,8	0,97	8,273	4
11	5,96	6,07	0,97	8,255	4
12	5,95	5,04	0,96	8,229	4
13	6,1	7,17	0,97	7,875	4
14	6,01	5,79	0,98	8,013	4
15	5,83	10,1	0,96	8,343	4
16	5,96	5,04	0,97	8,094	4
17	6,09	6,63	0,98	8,007	4
18	6,2	2,55	0,96	7,858	4
19	5,93	5,57	0,97	8,155	4
20	6,12	5,91	0,97	7,882	4
21	5,97	6,56	0,96	8,121	4
22	5,94	5,4	0,97	8,054	4
23	5,9	7,39	0,98	8,19	4

16. Рівниця

	X_{78}	X_{79}	X_{80}	Y_1 (X_{81})	Y_2 (X_{82})	Y_3 (X_{83})	X_{84}
1	0,457	1,53	0,97	8,32	6,7	2,8	12,9
2	0,456	1,42	0,97	8,6	6,8	3	13,3
3	0,453	1,35	0,96	8,26	6,7	2,8	13,3
4	0,456	1,11	0,975	8,3	6,7	3,1	12,9
5	0,456	1,39	0,94	8,4	6,6	2,9	13,1
6	0,456	1,5	0,95	8,5	6,8	3	13,4
7	0,455	1,07	0,95	8,27	6,7	2,8	13,2
8	0,457	1,07	0,948	8,5	6,7	3,1	13
9	0,458	0,86	0,945	8,4	6,6	2,9	13,4
10	0,456	1,4	0,977	8,3	6,7	2,8	12,9
11	0,455	2,07	0,948	8,3	6,7	3,1	13,1
12	0,454	1,43	0,95	8,3	6,8	3	13,1
13	0,453	1,05	0,95	8,15	6,7	3,1	13,5
14	0,456	1,21	0,945	8,4	6,6	2,9	13,2
15	0,454	1,47	0,948	8,26	6,8	3	12,8
16	0,456	1,06	0,951	8,3	6,7	3,1	13,1
17	0,456	1,01	0,95	8,4	6,6	2,9	13,4
18	0,454	1,14	0,95	8,36	6,8	3	13,6
19	0,456	1,13	0,958	8,63	6,7	2,8	13
20	0,455	1,21	0,959	8,35	6,7	3,1	13,5
21	0,454	1,16	0,95	8,32	6,6	2,9	13,2
22	0,454	1,73	0,957	8,45	6,7	3,1	13,1
23	0,458	0,53	0,951	8,54	6,6	2,9	12,9

17. Одиночна пряжа.

	X_{86}	X_{87}	X_{89}	X_{90}	X_{91}	X_{92}	X_{93}	X_{94}
1	21,9	2,52	49,9	33,5	2,4	6,82	21	5
2	21,9	2,99	47,7	32,8	2,6	6,88	21	3
3	21,5	2,28	49,9	33,8	2,4	6,81	21	6
4	21,9	2,62	48,1	33,4	2,5	6,79	21	2
5	21,3	2,37	47,8	32,7	2,3	6,88	21	4
6	20,9	2,17	48,2	33,2	2,6	6,81	22	3
7	21,3	2,89	49,9	33,8	2,4	6,88	21	6
8	22,1	2,68	54,1	34,6	2,5	6,7	21	2
9	22,1	2,67	56,8	34,9	2,3	6,69	21	4
10	22,2	2,13	57,9	35,8	2,4	6,61	21	6
11	24,7	3,41	63,1	36,6	2,5	6,58	18	2
12	24,5	2,4	54,2	34,5	2,6	6,71	19	3
13	25	1,87	57,1	34,6	2,5	6,71	18	2
14	24,5	1,8	58,8	35,7	2,3	6,64	19	4
15	24,7	2,2	57,2	35,5	2,6	6,67	18	3
16	24,8	1,94	59,1	35,6	2,5	6,67	18	6
17	24,9	2,22	58,2	34,7	2,3	6,7	18	2
18	24,9	2,37	58,2	34,5	2,6	6,71	18	4
19	24,5	2,59	58,9	34,4	2,4	6,7	19	3
20	24,9	1,21	59,1	34,5	2,5	6,71	18	6
21	25,2	0,9	59,8	34,9	2,3	6,69	18	2
22	25	1,4	58,8	34,6	2,5	6,71	18	6
23	25	2,01	59,6	35,7	2,3	6,64	18	2

18. Кручена пряжа.

	X_{95}	X_{96}	X_{98}	X_{99}	X_{100}	X_{101}	X_{102}
1	43,69	1,2	50,2	11,1	37	7,4	2
2	43,6	1,6	51	10,8	36	5,6	3
3	41,74	1,4	52,6	11	37	7,5	5
4	42,01	1,6	51,2	15,1	37	7,6	1
5	42,09	1,5	57,4	10,7	37	7,4	2
6	41,84	1,4	46,8	10,6	38	9,2	5
7	41,77	1,3	55,5	8,5	38	7,3	2
8	43,66	1,4	54,7	8,8	38	9,9	1
9	43,68	1,8	54,3	8,5	36	11	2
10	43,46	1,6	52,7	8,3	37	9,5	3
11	49,44	2	55,3	6,9	41	6,9	1
12	49,81	1,7	60,1	8,1	40	7,4	2
13	50,17	1,4	56,7	8,2	41	7,1	3
14	49,91	1,5	59,3	9,7	42	8	2
15	50,09	1,5	62,4	15,4	42	6,4	1
16	50,07	1,2	65,3	10,6	42	8,5	1
17	49,93	1,3	67,1	10,1	42	7,5	2
18	50,26	0,8	69,5	9,6	42	8,4	2
19	50,19	1,2	63	9,3	41	8,7	6
20	50,17	0,9	54,8	12,2	41	7,7	1
21	50,2	0,8	54,4	10,6	42	7,7	2
22	50,1	0,8	57,5	10,2	41	7,5	3
23	50,01	0,8	46,4	9,2	42	10	5

19.Сирова тканина.

	X_{103}	X_{104}	X_{105}	X_{106}	X_{107}	X_{108}	X_{109}	X_{110}	X_{111}
1	163,9	212	347	208	190	366	289	34	32
2	164,1	210	344	206	188	380	304	36	32
3	164	208	342	208	191	358	289	35	30
4	163,8	211	347	208	190	366	289	34	32
5	164	209	343	206	188	380	304	36	32
6	163,9	209	342	208	191	358	289	35	30
7	163,9	211	346	208	190	366	289	34	32
8	164	210	344	206	188	380	304	36	32
9	164,1	208	342	208	191	358	289	35	30
10	164	211	347	208	190	366	289	34	32
11	164,2	210	344	206	188	380	304	36	32
12	164	208	342	208	191	358	289	35	30
13	163,9	211	347	208	190	366	289	34	32
14	164	210	344	206	188	380	304	36	32
15	164	209	342	208	191	358	289	35	30
16	164,1	211	347	208	190	366	289	34	32
17	164	210	344	206	188	380	304	36	32
18	164	209	342	208	191	358	289	35	30
19	163,9	211	347	208	190	366	289	34	32
20	164	209	344	206	188	380	304	36	32
21	164	209	342	208	191	358	289	35	30
22	164	209	344	206	188	380	304	36	32
23	164	209	342	208	191	358	289	35	30

20. Готова тканина.

X_{112}	X_{113}	X_{114}	X_{115}	X_{116}	X_{117}	X_{118}	X_{119}	X_{120}	X_{121}	X_{122}	X_{123}	X_{124}	X_{125}
155,9	215	335,4	224	190	358	284	31	28	2	2	0,27	6000	2,2
156	212,4	331,3	226	192	343	255	30	26	1,8	1,7	0,28	5475	2,3
156	213	332,3	226	196	343	274	29	28	1,8	1,4	0,29	5320	2,1
156	215	335,4	224	190	358	284	31	28	2	2	0,27	6000	2,2
156	212,4	331,3	226	192	343	255	30	26	1,8	1,7	0,28	5475	2,3
156	213	332,3	226	196	343	274	29	28	1,8	1,4	0,29	5320	2,1
156	215	335,4	224	190	358	284	31	28	2	2	0,27	6000	2,2
156	212,4	331,3	226	192	343	255	30	26	1,8	1,7	0,28	5475	2,3
156	213	332,3	226	196	343	274	29	28	1,8	1,4	0,29	5320	2,1
156	215	335,4	224	190	358	284	31	28	2	2	0,27	6000	2,2
156	212,4	331,3	226	192	343	255	30	26	1,8	1,7	0,28	5475	2,3
156	213	332,3	226	196	343	274	29	28	1,8	1,4	0,29	5320	2,1
156	215	335,4	224	190	358	284	31	28	2	2	0,27	6000	2,2
156	212,4	331,3	226	192	343	255	30	26	1,8	1,7	0,28	5475	2,3
156	213	332,3	226	196	343	274	29	28	1,8	1,4	0,29	5320	2,1
156	215	335,4	224	190	358	284	31	28	2	2	0,27	6000	2,2
156	212,4	331,3	226	192	343	255	30	26	1,8	1,7	0,28	5475	2,3
156	213	332,3	226	196	343	274	29	28	1,8	1,4	0,29	5320	2,1
156	215	335,4	224	190	358	284	31	28	2	2	0,27	6000	2,2
156	212,4	331,3	226	192	343	255	30	26	1,8	1,7	0,28	5475	2,3
156	213	332,3	226	196	343	274	29	28	1,8	1,4	0,29	5320	2,1
156	212,4	331,3	226	192	343	255	30	26	1,8	1,7	0,28	5475	2,3
156	213	332,3	226	196	343	274	29	28	1,8	1,4	0,29	5320	2,1

Додаток А.2

Додаток А.2.1

Показники якості волокнистих продуктів напіввовняної пряжі (Н/В)

		Показники якості	Одиниці вимірюв.
1. Волокна та жмутки (Волокниста маса - підготовчий відділ)			
1	X_1	Довжина волокна вовни	*мм*
2	X_2	Довжина хімічного волокна (ПЕ)	*мм*
3	X_3	Діаметр волокна вовни	*мкм*
4	X_4	Діаметр хімічного волокна (ПЕ)	*мкм*
5	X_5	Питоме розривальне навантаження вовни	*кН/мтекс*
6	X_6	Питоме розривальне навантаження хім. волокна (ПЕ)	*кН/мтекс*
7	X_7	Вміст вовни	
8	X_8	Вміст хімічних волокон	
9	X_9	Лінійна густина волокна вовни	*мтекс*
10	X_{10}	Лінійна густина волокна ПЕ	*мтекс*
11	X_{11}	Поверхнева густина жмутків (*до тіпання)*	*г/см²*
12	X_{12}	Нерівнота за поверхневою густиною жмутків	*%*
2. Жмутки після тіпання (волокниста маса - тіпальний відділок)			
13	X_{13}	Поверхнева густина жмутків *після тіпання*	*г/см²*
14	X_{14}	Нерівнота за поверхневою густиною жмутків	*%*
3. Чесана стрічка			
15	X_{15}	Лінійна густина чесаної стрічки	*ктекс*
16	X_{16}	Нерівнота чесаної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
17	X_{17}	Ступінь розпрямлення волокон	-
18	X_{18}	Дефекти (*число мушок*)	*шт./г*
19	X_{19}	Довжина волокна (ср)	*мм*
4. Стрічка (1-й стрічковий перехід)			
20	X_{20}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
21	X_{21}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
22	X_{22}	Ступінь розпрямлення волокон	-
23	X_{23}	Витяжка (*загальна*)	-
24	X_{24}	Число складень	-
5. (2-й стрічковий перехід)			
25	X_{25}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
26	X_{26}	Нерівнота стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
27	X_{27}	Ступінь розпрямлення волокон	-
28	X_{28}	Витяжка (*загальна*)	-
29	X_{29}	Число складень	-

6. Гребінна стрічка після 1-го гребенечесання			
30	X_{30}	Лінійна густина чесаної стрічки	*ктекс*
31	X_{31}	Нерівнота за лінійною густиною стрічки	*%*
32	X_{32}	Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон	-
33	X_{33}	Витяжка (*загальна*)	-
34	X_{34}	Число складень	-
7. Стрічка (стрічковий перехід)			
35	X_{35}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
36	X_{36}	Нерівнота стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
37	X_{37}	Ступінь розпрямлення волокон	-
38	X_{38}	Витяжка (*загальна*)	-
39	X_{39}	Число складень	-
40	X_{40}	Дефекти (*число мушок*)	*шт./г*
41	X_{41}	Довжина волокна	*мм*
8. Стрічка після фарбування			
42	X_{42}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
43	X_{43}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
44	X_{44}	Ступінь розпрямлення волокон	-
45	X_{45}	Витяжка (*загальна*)	-
46	X_{46}	Число складень	-
9. Стрічка (1-й стрічковий перехід)			
47	X_{47}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
48	X_{48}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
49	X_{49}	Ступінь розпрямлення волокон	-
50	X_{50}	Витяжка (*загальна*)	-
51	X_{51}	Число складень	-
10. Стрічка (2-й стрічковий перехід			
52	X_{52}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
53	X_{53}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
54	X_{54}	Ступінь розпрямлення волокон	-
55	X_{55}	Витяжка (*загальна*)	-
56	X_{56}	Число складень	-
11. Гребінна стрічка після 2-го гребенечесання (1-й стрічковий перехід)			
57	X_{57}	Лінійна густина чесаної стрічки	*ктекс*
58	X_{58}	Нерівнота за лінійною густиною стрічки	%
59	X_{59}	Ступінь розпрямленості та орієнтації волокон	-
60	X_{60}	Витяжка (*загальна*)	-
61	X_{61}	Число складень	-

12. Стрічка (1-й стрічковий перехід)			
62	X_{62}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
63	X_{63}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
64	X_{64}	Ступінь розпрямлення волокон	-
65	X_{65}	Витяжка (*загальна*)	-
66	X_{66}	Число складень	-
67	X_{67}	Дефекти (*число мушок*)	*шт./г*
68	X_{68}	Довжина волокна	*мм*
13. Стрічка (2-й) стрічковий перехід)			
69	X_{69}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
70	X_{70}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
71	X_{71}	Ступінь розпрямлення волокон	-
72	X_{72}	Витяжка (*загальна*)	-
73	X_{73}	Число складень	-
14. Стрічка для рівниці (1-й стрічковий перехід)			
74	X_{74}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
75	X_{75}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
76	X_{76}	Ступінь розпрямлення волокон	-
77	X_{77}	Витяжка (*загальна*)	-
78	X_{78}	Число складень	-
15. Стрічка для рівниці (2-й стрічковий перехід)			
79	X_{79}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
80	X_{80}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
81	X_{81}	Ступінь розпрямлення волокон	-
82	X_{82}	Витяжка (*загальна*)	-
83	X_{83}	Число складень	-
16. Стрічка для рівниці (3-й стрічковий перехід)			
84	X_{84}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
85	X_{85}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
86	X_{86}	Ступінь розпрямлення волокон	-
87	X_{87}	Витяжка (*загальна*)	-
88	X_{88}	Число складень	-
17. Стрічка для рівниці (4-й стрічковий перехід)			
89	X_{89}	Лінійна густина вихідної стрічки	*ктекс*
90	X_{90}	Нерівнота вихідної стрічки (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
91	X_{91}	Ступінь розпрямлення волокон	-
92	X_{92}	Витяжка (*загальна*)	-
93	X_{93}	Число складень	-

18. Рівниця			
94	X_{94}	Лінійна густина рівниці	*ктекс*
95	X_{95}	Нерівнота рівниці (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
96	X_{96}	Ступінь розпрямлення волокон	-
97	X_{97}	Відносне розривальне навантаження	*мН/текс*
98	X_{98}	Коеф. крутіння рівниці	-
99	X_{99}	Коеф. варіації за крутінням	*%*
100	X_{100}	Витяжка (*загальна*)	-
101	X_{101}	Дефекти (*скритих джгутів на 300 м*)	*шт*
19. Пряжа			
102	X_{102}	Лінійна густина пряжі	*ктекс*
103	X_{103}	Нерівнота пряжі (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
104	X_{104}	Ступінь розпрямлення волокон	-
105	X_{105}	Відносне розривальне навантаження пряжі	*мН/текс*
106	X_{106}	Коеф. крутіння пряжі	-
107	X_{107}	Коеф. варіації за крутінням	*%*
108	X_{108}	Видовження при розриванні	*%*
109	X_{109}	Витяжка (*загальна*)	-
110	X_{110}	Дефекти (*джгути на 5000 м*)	*шт*
20. Кручена пряжа			
111	X_{111}	Лінійна густина пряжі	*текс*
112	X_{112}	Нерівнота крученої пряжі (коеф.вар. за лін.густ.)	*%*
113	X_{113}	Ступінь розпрямлення волокон	-
114	X_{114}	Відносне розривальне навантаження пряжі	*мН/текс*
115	X_{115}	Видовження при розриванні	%
116	X_{116}	Коефіцієнт крутіння пряжі	-
117	X_{117}	Коефіцієнт варіації за крутінням	*%*
118	X_{118}	Дефекти (*джгути на 5000 м*)	*шт*
21. Сирова тканина			
119	X_{119}	Поверхнева густина сирової тканини	*г/см²*
120	X_{120}	Лінійна густина сирової тканини	*г/м*
121	X_{121}	Розривальне навантаження сирової тканини по основі	*Н*
122	X_{122}	Розривальне навантаження сирової тканини по утоку	*Н*
123	X_{123}	Розривальне видовження сирової тканини по основі	*мм*
124	X_{124}	Розривальне видовження сирової тканини по утоку	*мм*
125	X_{125}	Ширина	*см*

22. Готова тканина			
126	X_{126}	Поверхнева густина готової тканини	*г/м²*
127	X_{127}	Лінійна густина готової тканини	*г/м*
128	X_{128}	Розривальне навантаження готової тканини по основі	*Н*
129	X_{129}	Розривальне навантаження готової тканини по утоку	*Н*
130	X_{130}	Розривальне видовження готової тканини по основі	*мм*
131	X_{131}	Розривальне видовження готової тканини по утоку	*мм*
132	X_{132}	Зміна лінійних розмірів тканини по основі	*%*
133	X_{133}	Зміна лінійних розмірів тканини по утоку	*%*
134	X_{134}	Коефіцієнт зминальності тканини	*%*
135	X_{135}	Стійкість до тертя тканини	*цикли*
136	X_{136}	Пілінгування тканини	*пілі/см²*

Додаток А.2.2.

Структури баз даних волокнистих продуктів напіввовняної пряжі (*Н/В*)

№	Назва продукту	Фактори
1	*Жмутки після тіпання*	X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6,X_7, X_8 X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}.
2	*Чесана стрічка*	X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}.
3	*Стрічка для вирівняння (1-й перехід)*	X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23} X_{24}.
4	*(2-й стрічковий перехід)*	X_{25}, X_{26}, X_{27}, X_{28}, X_{29}.
5	*Гребінна стрічка після 1-го гребенечесання (стрічковий перехід)*	X_{30}, X_{31}, X_{32}, X_{33}, X_{34}, X_{35}, X_{36}.
6	*Стрічка після фарбування (1-й стрічковий перехід)*	X_{37}, X_{38}, X_{39}, X_{40}, X_{41}.
7	*Стрічка після фарбування (2-й стрічковий перехід)*	X_{42}, X_{43}, X_{44}, X_{45}, X_{46}.
8	*Стрічка після фарбування (3-й стрічковий перехід)*	X_{47},X_{48}, X_{49}, X_{50}, X_{51}.
9	*Гребінна стрічка після 2-го гребенечесання (1-й стрічк. перехід)*	X_{52} ,X_{53}, X_{54}, X_{55}, X_{56}, X_{57} X_{58}.
10	*Стрічка (2-й стрічковий перехід)*	X_{59}, X_{60}, X_{61}, X_{62},X_{63}.
11	*Стрічка для рівниці (1-й стрічковий перехід)*	X_{64} X_{65} X_{66} X_{67},X_{68}
12	*Стрічка для рівниці (2-й стрічковий перехід)*	X_{69}, X_{70}, X_{71}, X_{72},X_{73}
13	*Стрічка для рівниці (3-й стрічковий перехід)*	X_{74}, X_{75}, X_{76}, X_{77}, X_{78}
14	*Стрічка для рівниці (4-й стрічковий перехід)*	X_{79}, X_{80}, X_{81}, X_{82}, X_{83}
15	*Рівниця*	X_{84}, X_{85}, X_{86}, X_{87}, X_{88}, X_{89}, X_{90}, X_{91}
16	*Одиночна пряжа*	X_{92}, X_{93}, X_{94}, X_{95}, X_{96}, X_{97}, X_{98} X_{99}, X_{100}
17	*Кручена пряжа*	X_{101}, X_{102}, X_{103}, X_{104}, X_{105}, X_{106}, X_{107} X_{108}
18	*Сирова тканина*	X_{109}, X_{110}, X_{111}, X_{112}, X_{113}, X_{114}, X_{115} X_{116}, X_{117}, X_{118}
19	*Готова тканина*	X_{119}, X_{120}, X_{121}, X_{122}, X_{123}, X_{124}, X_{125} X_{126}, X_{127}, X_{128}, X_{129}, X_{130}, X_{131}, X_{132}

Бази даних (*Н/В*)

1. Жмутків (*після тіпання*)

X_1	X_2	X_3	X_4,	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
66,4	85	23	17,5	7,47	38,4	50	50	512,2	330	0,8	103	0,101	101
61,8	85	23,4	14,2	7,32	31,7	50	50	544,2	220	0,77	98,5	0,0962	99,7
58,4	80	24	17,5	7,43	38,4	40	60	548,2	330	0,8	99,8	0,097	97,2
60,6	85	22,5	17,5	7,5	38,4	50	50	512,9	330	0,79	105	0,1012	97,7
60,4	85	22,6	17,5	7,6	38,4	50	50	540,6	330	0,8	107	0,1013	102
60,6	86	21,5	17,5	7,36	38,4	70	30	548,5	330	0,78	107	0,1011	97,1
58,6	85	21,5	14,2	7,5	31,7	50	50	533,3	220	0,81	106	0,1013	107
59,8	85	22,3	17,5	7,52	38,4	50	50	522,8	330	0,78	96,5	0,091	103
60,6	85	22,5	17,5	7,54	38,4	50	50	534,3	330	0,74	107	0,1013	98,2
60,4	85	22,6	17,5	7,24	38,4	50	50	536,2	330	0,81	96,5	0,0903	101
61,1	85	22,3	17,5	7,52	38,4	50	50	543,4	330	0,79	105	0,1012	99,7
60,7	85	22	17,5	7,4	38,4	50	50	534,3	330	0,79	98,5	0,0962	102
61,4	80	21,8	14,2	7,4	31,7	89	11	553,4	220	0,79	96,5	0,091	101
75,2	80	19,5	14,2	7,56	31,7	60	40	543,6	220	0,81	107	0,1013	107
59,1	175	23	35	7,39	51,5	54	46	534,2	660	0,78	99,8	0,097	97,7
58,9	175	22,7	35	7,32	51,5	54	46	512,9	660	0,81	103	0,101	102
61,6	170	23	35	7,43	51,5	44	56	543,9	660	0,71	106	0,1013	97,1
64	85	24	17,5	7,22	38,4	40	60	524,6	330	0,8	96,5	0,0903	103
60,6	175	22	35	7,64	51,5	70	30	544,6	660	0,8	98,6	0,0962	105
60,2	175	22,7	35	7,42	51,5	54	46	527,4	660	0,79	103	0,101	98,5
59,5	175	22,9	35	7,51	51,5	54	46	547,6	660	0,79	99,7	0,097	97,1
60,2	175	22,6	35	7,23	51,5	54	46	534,7	660	0,79	107	0,1013	101

2. Чесана стрічка

	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}
1	22,4	3,91	0,65	21	59,6
2	22,1	1,07	0,63	22	58,8
3	21,8	2,02	0,64	20	58,7
4	22,4	1,9	0,65	21	60,1
5	22,2	3,19	0,61	20	59,8
6	22	2,43	0,61	20	60,3
7	21,4	3,68	0,62	19	58,8
8	22,1	2,24	0,65	21	59,6
9	22,1	1,9	0,62	19	58,8
10	22,2	3,19	0,63	22	58,7
11	22	2,74	0,61	20	59,2
12	21,9	2,06	0,61	20	58,3
13	21,9	2,15	0,62	19	59,6
14	21,9	2,27	0,61	20	60,4
15	22,1	2,96	0,63	22	58,7
16	22,2	2,82	0,63	22	68,5
17	22,1	1,48	0,65	21	58,8
18	22,2	2,6	0,63	22	58,7
19	22,2	2,6	0,64	20	59,4
20	22,1	2,6	0,61	20	58,7
21	22,2	1,93	0,65	21	59,3
22	22,3	1,86	0,61	20	59,6

3. Стрічка для вирівнювання,
(1-й перехід)

	X_{20}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}
1	30	2,78	0,66	8,96	12
2	29,9	1,17	0,66	8,872	12
3	30,9	2,06	0,65	8,47	12
4	30,1	1,86	0,67	8,927	12
5	30,4	2,46	0,67	8,791	12
6	30,3	3,32	0,66	8,719	12
7	30,5	3,46	0,67	8,42	12
8	30,2	1,77	0,65	8,77	12
9	30,1	1,86	0,66	8,812	12
10	30,4	2,46	0,65	8,791	12
11	30,3	1,93	0,66	8,706	12
12	29,9	2,38	0,67	8,789	12
13	30,9	1,54	0,67	8,504	12
14	30,4	1,89	0,65	8,648	12
15	30	1,96	0,65	8,839	12
16	30	2,37	0,65	8,891	12
17	30,4	1,55	0,67	8,699	12
18	30,1	2,27	0,65	8,85	12
19	30,1	2,27	0,67	8,85	12
20	29,9	1,82	0,66	8,877	12
21	30	2,17	0,66	8,889	12
22	30,2	1,92	0,66	8,86	12

4. Стрічка для вирівнювання,
(2-й перехід)

	X_{25}	X_{26}	X_{27}	X_{28}	X_{29}
1	29,8	2,54	0,71	6,04	6
2	30,02	1,88	0,7	5,966	6
3	30,72	1,87	0,7	6,029	6
4	29,89	1,84	0,7	6,044	6
5	30,19	2,76	0,71	6,034	6
6	30,27	2,15	0,7	6,01	6
7	30,3	3	0,7	6,04	6
8	30,04	2,39	0,7	6,032	6
9	29,89	1,84	0,71	6,044	6
10	30,19	2,76	0,7	6,034	6
11	30,02	2,25	0,71	6,058	6
12	30,07	2,2	0,7	5,972	6
13	30,38	1,71	0,71	6,095	6
14	30,47	1,56	0,72	5,992	6
15	30,03	2,94	0,7	5,992	6
16	30,08	2,4	0,7	5,974	6
17	30,14	1,69	0,71	6,058	6
18	30	2,58	0,71	6,02	6
19	30	2,58	0,7	6,02	6
20	29,93	1,92	0,7	5,992	6
21	30,04	2,12	0,7	5,994	6
22	30,21	1,71	0,71	5,996	6

5. Гребінна стрічка після 1-го гребенечесання
(*стрічковий перехід*)

	X_{30}	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}	X_{36}
1	25,6	2,78	0,79	8,15	7	8,1	69,9
2	26,2	1,84	0,77	8,04	7	8,5	61,8
3	25,9	2,42	0,77	8,31	7	8,5	61,8
4	25,6	2,75	0,77	8,16	7	8,5	61,8
5	25,9	2,17	0,79	8,16	7	8,1	69,9
6	25,9	2,36	0,77	8,19	7	8,5	61,8
7	24,6	3,94	0,77	8,62	7	8,5	61,8
8	25,5	2,77	0,77	8,24	7	8,5	61,8
9	25,6	2,75	0,79	8,16	7	8,1	69,9
10	25,9	2,17	0,77	8,16	7	8,5	61,8
11	25,9	2,39	0,79	8,1	7	8,1	69,9
12	26,1	1,61	0,77	8,06	7	8,1	69,9
13	25,6	2,95	0,79	8,31	7	8,5	61,8
14	25,6	2,11	0,77	8,32	7	8,5	61,8
15	26,1	2,38	0,77	8,07	7	8,5	61,8
16	25,9	2,16	0,77	8,13	7	8,1	69,9
17	25,9	2,61	0,79	8,15	7	8,5	61,8
18	25,6	3,74	0,79	8,2	7	8,1	69,9
19	25,6	3,74	0,77	8,2	7	8,1	69,9
20	25	1,41	0,79	8,39	7	8,1	69,9
21	25,8	2,57	0,77	8,15	7	8,1	69,9
22	26,1	2,14	0,79	8,1	7	8,5	61,8

6. Стрічка після фарбування
(1-й стрічковий перехід)

	X_{37}	X_{38}	X_{39}	X_{40}	X_{41}
1	29,8	2,13	0,77	6,4	8
2	30,4	1,87	0,77	6,872	8
3	30,6	1,6	0,78	6,768	8
4	30,1	2,64	0,78	6,812	8
5	30,2	2,23	0,79	6,875	8
6	30	2,59	0,78	6,901	8
7	30,4	3,23	0,77	6,474	8
8	30,8	2,24	0,77	6,626	8
9	30,1	2,64	0,79	6,812	8
10	30,2	2,23	0,78	6,875	8
11	30,1	1,74	0,77	6,894	8
12	30,3	1,88	0,79	6,906	8
13	30,7	1,72	0,77	6,675	8
14	30,5	1,82	0,77	6,727	8
15	26,5	4,47	0,79	7,879	8
16	30,2	1,86	0,79	6,868	8
17	30,3	1,59	0,77	6,833	8
18	30,1	3,64	0,79	6,804	8
19	30,1	3,64	0,77	6,804	8
20	30	1,92	0,78	6,663	8
21	30,1	1,56	0,77	6,86	8
22	30,1	1,97	0,78	6,942	8

7. Стрічка після фарбування
(2-й стрічковий перехід)

	X_{42}	X_{43}	X_{44}	X_{45}	X_{46}
1	29,9	2,18	0,83	5,98	6
2	29,92	2,19	0,81	6,092	6
3	30,75	2,13	0,82	5,969	6
4	30,09	1,44	0,81	6,002	6
5	30,15	2,26	0,82	6	6
6	30,15	2,77	0,82	5,968	6
7	30,3	3,11	0,81	6,02	6
8	29,91	2,49	0,81	6,179	6
9	30,09	1,44	0,82	6,002	6
10	30,15	2,26	0,83	6	6
11	30,18	1,82	0,81	5,982	6
12	29,92	1,75	0,81	6,07	6
13	30,43	1,87	0,83	6,049	6
14	30,08	1,9	0,81	6,082	6
15	30,07	2,33	0,81	5,28	6
16	29,54	2,38	0,83	6,13	6
17	30,13	1,76	0,83	6,034	6
18	29,5	2,17	0,81	6,122	6
19	29,5	2,17	0,82	6,122	6
20	30,25	1,53	0,81	5,944	6
21	30,23	1,97	0,82	5,974	6
22	29,99	1,61	0,81	6,02	6

8. Стрічка після фарбування
(3-й стрічковий перехід)

	X_{47}	X_{48}	X_{49}	X_{50}	X_{51}
1	16,1	5,29	0,75	5,57	3
2	15,9	1,91	0,75	5,64	3
3	15,9	3	0,75	5,82	3
4	15,9	2,77	0,75	5,67	3
5	15,8	3,36	0,74	5,74	3
6	15,8	4,76	0,75	5,71	3
7	16,1	4,19	0,77	5,65	3
8	15,8	3,19	0,77	5,67	3
9	15,9	2,77	0,75	5,67	3
10	15,8	3,36	0,74	5,74	3
11	16	2,82	0,75	5,66	3
12	16,1	2,76	0,76	5,59	3
13	15,9	1,65	0,77	5,74	3
14	15,9	2,82	0,74	5,69	3
15	16	3,61	0,74	5,64	3
16	16	3,34	0,73	5,55	3
17	16,1	2,18	0,75	5,62	3
18	15,8	3,99	0,75	5,6	3
19	15,8	3,99	0,76	5,6	3
20	16,1	3,53	0,75	5,63	3
21	16	2,88	0,74	5,67	3
22	15,9	2,35	0,75	5,65	3

9. Гребінна стрічка після 2-го гребенечесання
(*стрічковий перехід*)

	X_{52}	X_{53}	X_{54}	X_{55}	X_{56}	X_{57}	X_{58}
1	22,6	3,04	0,78	5,7	8	9	61,8
2	22	1,5	0,77	5,79	8	8	60,9
3	21,9	2,69	0,78	5,78	8	8	59,9
4	22,1	3,59	0,78	5,76	8	9	61,8
5	22	2,29	0,76	5,72	8	8	59,9
6	21,7	2,14	0,76	5,83	8	9	61,8
7	22,8	3,78	0,79	5,65	8	8	58,9
8	22,3	2,46	0,79	5,67	8	9	61,8
9	22,1	3,59	0,77	5,76	8	9	61,8
10	22	2,29	0,76	5,72	8	9	61,8
11	22	3,3	0,76	5,81	8	9	61,8
12	21,9	2,69	0,78	5,85	8	9	61,8
13	22	2,29	0,79	5,78	8	8	63,9
14	22	1,72	0,76	5,78	8	9	61,8
15	22,2	2,88	0,76	5,76	8	8	62,9
16	22,1	1,51	0,76	5,78	8	8	65,9
17	22,1	1,59	0,77	5,81	8	8	61,9
18	22,2	2,72	0,77	5,69	8	9	61,8
19	22,2	2,72	0,79	5,69	8	9	61,8
20	21,9	2,5	0,77	5,9	8	8	63,9
21	22,1	2,93	0,77	5,79	8	8	63,9
22	22	1,78	0,78	5,79	8	8	63,9

10. 2-й стрічковий перехід

	X_{59}	X_{60}	X_{61}	X_{62}	X_{63}
1	22,1	3,72	0,82	7,16	7
2	22,25	3,11	0,83	6,92	7
3	22,2	2	0,82	6,92	7
4	22,09	2,85	0,82	7	7
5	22	2,83	0,8	7	7
6	22,04	2,99	0,8	6,9	7
7	22,3	3,06	0,81	7,16	7
8	21,99	2,81	0,81	7,11	7
9	22,09	2,85	0,83	7	7
10	22	2,83	0,8	7	7
11	22,01	3,2	0,83	7	7
12	22,02	3,17	0,8	6,97	7
13	22,02	1,3	0,81	6,99	7
14	21,86	2,19	0,8	7,03	7
15	22,16	3,08	0,83	7,03	7
16	21,93	2,46	0,83	7,05	7
17	22,1	1,62	0,81	7,01	7
18	22,2	2,78	0,83	7	7
19	22,2	2,78	0,82	7	7
20	22,12	2,41	0,81	6,92	7
21	22,15	1,95	0,81	6,98	7
22	22,12	2,67	0,8	6,96	7

11. Стрічка для рівниці
(1-й стрічковий перехід)

	X_{64}	X_{65}	X_{66}	X_{67}	X_{68}
1	22	3,4	0,86	8,04	8
2	22,1	1,85	0,85	8,06	8
3	24	1,87	0,86	7,39	8
4	22,2	2,72	0,86	7,97	8
5	22,3	1,95	0,87	7,91	8
6	22,1	2,89	0,87	7,99	8
7	22,3	2,43	0,86	8	8
8	22,1	1,76	0,86	7,96	8
9	22,2	2,72	0,85	7,97	8
10	22,3	1,95	0,87	7,91	8
11	22	1,48	0,86	7,99	8
12	21,7	2,82	0,86	8,11	8
13	23,9	2,06	0,86	7,38	8
14	24	2,23	0,87	7,29	8
15	24	2,5	0,87	7,38	8
16	24,1	2,64	0,86	7,27	8
17	24	1,46	0,87	7,38	8
18	24	2,22	0,85	7,4	8
19	24	2,22	0,85	7,4	8
20	24	2,34	0,86	7,39	8
21	24,2	2,43	0,87	7,34	8
22	24,2	2,3	0,86	7,33	8

12. Стрічка для рівниці
(2-й стрічковий перехід)

	X_{69}	X_{70}	X_{71}	X_{72}	X_{73}
1	22,2	2,23	0,91	7,93	8
2	22,1	1,93	0,89	7,99	8
3	23,86	1,78	0,91	8,06	8
4	22,34	2,25	0,91	7,94	8
5	22,24	3,07	0,9	8,01	8
6	21,87	1,92	0,9	8,08	8
7	22,1	2,8	0,92	8,07	8
8	22,17	2,57	0,92	7,97	8
9	22,34	2,25	0,89	7,94	8
10	22,24	3,07	0,9	8,01	8
11	21,73	2,01	0,92	8,11	8
12	21,91	2,51	0,89	7,93	8
13	24,11	1,55	0,92	7,92	8
14	23,99	1,46	0,9	8	8
15	24,1	2,65	0,92	7,98	8
16	24,01	2,55	0,92	8,04	8
17	24,02	1,52	0,91	7,98	8
18	24	2,64	0,89	8	8
19	24	2,64	0,9	8	8
20	24,26	1,73	0,89	7,9	8
21	24,04	2,09	0,91	8,04	8
22	24,09	2,41	0,89	8,02	8

13. Стрічка для рівниці
(3-й стрічковий перехід)

	X_{74}	X_{75}	X_{76}	X_{77}	X_{78}
1	8,86	4,71	0,94	10,023	4
2	9,08	3,51	0,92	9,7357	4
3	12,1	3,98	0,93	7,9007	4
4	11,2	5,92	0,93	7,9573	4
5	11,6	4,56	0,91	7,6624	4
6	11	5,49	0,93	7,9527	4
7	11,6	4,39	0,95	7,6207	4
8	11,2	4,9	0,93	7,9534	4
9	11,2	5,92	0,92	7,9573	4
10	11,6	4,56	0,92	7,6624	4
11	11,4	6,27	0,94	7,6581	4
12	11,9	5,39	0,92	7,3958	4
13	12,2	5,2	0,95	7,9244	4
14	12	3,7	0,93	7,9701	4
15	11,9	5,06	0,94	8,1213	4
16	12,1	3,82	0,94	7,9306	4
17	11,7	2,62	0,93	8,205	4
18	12	5,56	0,92	8	4
19	12	5,56	0,92	8	4
20	11,8	4,59	0,91	8,2237	4
21	12,1	4,8	0,93	7,9801	4
22	12,1	4,75	0,91	7,9374	4

14. Стрічка для рівниці
(4-й стрічковий перехід)

	X_{79}	X_{80}	X_{81}	X_{82}	X_{83}
1	4,6	5,55	0,97	7,7	4
2	4,59	5,18	0,98	7,91	4
3	6,02	6,21	0,97	8,03	4
4	5,71	5,17	0,97	7,87	4
5	5,4	5,71	0,96	8,6	4
6	5,18	5,12	0,96	8,49	4
7	5,4	5,21	0,97	8,59	4
8	5,64	5,89	0,97	7,91	4
9	5,71	5,17	0,98	7,87	4
10	5,4	7,71	0,96	8,6	4
11	5,86	5,16	0,97	7,75	4
12	5,9	6,03	0,98	8,03	4
13	5,87	6,07	0,97	8,29	4
14	5,99	8,08	0,96	8,04	4
15	5,89	6,47	0,97	8,06	4
16	6,08	5,79	0,97	7,97	4
17	5,97	1,07	0,97	7,85	4
18	6	5,72	0,98	8	4
19	6	5,72	0,96	8	4
20	5,9	5,59	0,96	8	4
21	6,16	5,39	0,97	7,82	4
22	5,87	5,8	0,98	8,27	4

15. Рівниця

	X_{84}	X_{85}	X_{86}	X_{87}	X_{88}	X_{89}	X_{90}
1	0,302	1,9	0,96	8,26	6,7	2,8	15,25
2	0,302	2,2	0,97	8,4	6,6	2,9	15,2
3	0,303	1,2	0,97	8,3	6,7	2,8	19,85
4	0,368	1,7	0,95	8,32	6,7	2,8	15,51
5	0,365	2,2	0,95	8,6	6,8	3	14,78
6	0,366	2,1	0,95	8,5	6,8	3	14,14
7	0,367	2,3	0,96	8,3	6,7	3,1	14,72
8	0,367	1,6	0,96	8,15	6,7	3,1	15,38
9	0,368	1,7	0,97	8,4	6,6	2,9	15,51
10	0,365	2,2	0,95	8,26	6,8	3	14,78
11	0,365	2,2	0,96	8,3	6,7	3,1	16,05
12	0,371	1,5	0,97	8,4	6,6	2,9	15,91
13	0,456	1,1	0,96	8,3	6,7	3,1	12,89
14	0,456	1,4	0,95	8,3	6,8	3	13,14
15	0,457	1,5	0,96	8,35	6,7	3,1	12,89
16	0,456	1,4	0,97	8,45	6,7	3,1	13,33
17	0,457	1,1	0,96	8,63	6,7	2,8	13,06
18	0,452	1,5	0,96	8,4	6,6	2,9	13,27
19	0,452	1,5	0,95	8,36	6,8	3	13,27
20	0,457	1,1	0,95	8,32	6,6	2,9	12,91
21	0,458	0,9	0,96	8,53	6,7	2,8	13,45
22	0,456	1,4	0,97	8,54	6,6	2,9	12,87

16. Одиночна пряжа

	X_{92}	X_{93}	X_{95}	X_{96}	X_{97}	X_{98}	X_{99}	X_{100}
1	15,8	3,3	120	25,7	3,1	15	19,09	2
2	15,83	2,4	122	25,8	1,5	16,6	19,07	6
3	15,54	2,5	104	26,3	0,8	13,6	19,51	4
4	18,89	3,3	118	27,3	1,1	15,9	19,49	3
5	18,97	2,5	127	27,1	3,5	17,6	19,26	7
6	18,89	2,5	133	24,2	4,2	18,5	19,39	4
7	18,7	3,5	130	27,3	1,8	15,9	19,62	6
8	18,92	3	125	27,1	3,5	17,6	19,38	7
9	18,89	3,3	140	28,7	4,2	17,4	19,49	4
10	18,97	2,5	130	27,3	1,4	17,2	19,26	3
11	18,86	2,7	125	29,2	3,5	18,2	19,35	5
12	18,88	1,6	125	23,5	3,2	18,3	19,65	9
13	18,98	3,8	54	29,7	2,6	8,4	24	3
14	18,88	3,4	120	23,6	4,8	12,9	24,14	2
15	21,92	2,5	123	24,3	2,1	15,3	20,85	3
16	21,87	3	124	23,7	4,4	14,8	20,86	5
17	21,65	1,4	124	23,6	5	17,9	21,11	2
18	22,1	3,6	126	23,9	3,6	17,9	20,46	2
19	22,1	3,6	139	23,9	3,6	15	20,46	3
20	22,1	2,7	135	23,6	4,8	20,1	20,68	1
21	22,06	2,7	136	23,9	3,6	17,4	20,77	2
22	22,15	2,1	129	25,4	2,4	16,6	20,6	2

17. Кручена пряжа

	X_{101}	X_{102}	X_{104}	X_{105}	X_{106}	X_{107}	X_{108}
1	31,9	1,9	147	20,3	31,2	7,9	2
2	31,82	2,6	133	19,9	32,5	8,5	6
3	31,09	1,8	154	21,2	32,3	6,7	4
4	39,1	2	148	18,2	45,3	7,1	3
5	39,1	1,9	165	19,9	45	6,4	7
6	37,65	1,6	124	18,2	24,1	6,8	4
7	37,5	2	146	18,7	39,7	6,2	6
8	37,72	2,3	151	19,1	41,2	8,3	7
9	37,92	2,2	160	17	38,5	7,7	4
10	38,06	2,3	144	19,2	45,2	8,5	3
11	38,05	2,5	161	18,5	38,5	6,6	5
12	37,4	2,4	158	17,8	38,4	6,8	9
13	37,6	2,1	53	9,3	30,9	4,3	3
14	36,1	2,7	137	17,5	26	5,4	2
15	43,69	2,2	202	17,1	36,9	8,2	3
16	43,6	2,3	206	16,9	36,8	7,4	5
17	43,19	2,5	171	17,6	34,7	7,6	2
18	43,54	2,2	163	15,7	35,6	5,5	2
19	43,7	1,6	121	17,6	35,7	7,6	3
20	43,66	2,3	181	17,6	35,4	7,1	1
21	43,68	2,3	183	18,7	36,3	5,8	2
22	43,46	2	190	17,8	36,7	6,9	2
23	31,9	1,9	147	20,3	31,2	7,9	2

18.Сирова тканина

X_{109}	X_{110}	X_{111}	X_{112}	X_{113}	X_{114}	X_{115}	X_{116}	X_{117}	X_{118}
160,5	212	328	321	247	1034	718	53	42	155,5
159	211	327	313	243	1012	702	52	41	154
159,4	214	329	322	245	746	534	46	39	154
155	254	389	397	256	1294	872	62	43	153,5
155	257	400	401	254	1225	823	48	41	154
160	319	510	426	384	990	921	63	45	156
155	259	401	402	254	1225	823	48	41	154
155	260	403	400	258	1283	784	62	39	154
156	266	413	400	248	1098	813	58	37	154
155	258	400	396	256	1294	872	62	43	153,5
155	259	401	402	254	1225	823	48	41	154
155	260	403	400	258	1283	784	62	39	154
156	266	413	400	248	1098	813	58	37	154
155	254	389	397	256	1294	872	62	43	153,5
155	257	400	401	254	1225	823	48	41	154
160	319	510	426	384	990	921	63	45	156
155	258	400	396	256	1294	872	62	43	153,5
155	259	401	402	254	1225	823	48	41	154
155	260	403	400	258	1283	784	62	39	154
156	266	413	400	248	1098	813	58	37	154
155	258	400	396	256	1294	872	62	43	153,5
155	259	401	402	254	1225	823	48	41	154
160,5	212	328	321	247	1034	718	53	42	155,5

19. Готова тканина

X_{119}	X_{120}	X_{121}	X_{122}	X_{123}	X_{124}	X_{125}	X_{126}	X_{127}	X_{128}	X_{129}	X_{130}	X_{131}
214	331	334	247	1075	672	46	42	0,5	0,1	0,15	13786	4
214	331	332	243	1052	657	46	43	0,6	0,2	0,17	14802	4
213	330	336	245	785	523	52	41	1,2	0,6	0,15	16291	4
261	396	410	258	1392	804	36	41	0,4	0	0,15	17857	3
259	399	404	258	1244	784	72	41	0,5	0,1	0,17	18254	4
323	500	438	392	1149	931	60	47	1,8	0,9	0,3	10960	4
259	399	404	258	1244	784	72	41	0,5	0,1	0,17	18870	0
258	398	408	258	1333	843	42	46	0,6	0,2	0,15	18954	0
261	402	412	240	1127	657	54	43	1,2	0,6	0,17	18859	0
261	396	410	258	1392	804	36	41	0,4	0	0,15	18269	3
259	399	404	258	1244	784	72	41	0,5	0,1	0,17	18387	4
258	398	408	258	1333	843	42	46	0,6	0,2	0,15	18389	4
261	402	412	240	1127	657	54	43	1,2	0,6	0,17	6354	5
261	396	410	258	1392	804	36	41	0,4	0	0,15	12835	2
259	399	404	258	1244	784	72	41	0,5	0,1	0,17	15743	4
323	500	438	392	1149	931	60	47	1,8	0,9	0,3	15684	4
261	396	410	258	1392	804	36	41	0,4	0	0,15	18795	3
259	399	404	258	1244	784	72	41	0,5	0,1	0,17	16970	2
258	398	408	258	1333	843	42	46	0,6	0,2	0,15	11336	5
261	402	412	240	1127	657	54	43	1,2	0,6	0,17	15372	4
261	396	410	258	1392	804	36	41	0,4	0	0,15	14896	4
259	399	404	258	1244	784	72	41	0,5	0,1	0,17	15379	3
214	331	334	247	1075	672	46	42	0,5	0,1	0,15	13786	4

Додаток А 3.

Структура математичних моделей для чистововняної пряжі

		Жмутки після тіпання	Чесана стрічка	Стрічка 1-й перехід	Стрічка 2-й перехід
		1	2	3	4
Волокна та жмутки до тіпання	0	$Y^1_1 (Y^0_1; Y^0_2; Y^0_3; Y^0_5)$ $Y^1_2 (Y^0_1; Y^0_2; Y^0_6)$			
Жмутки після тіпання	1		$Y^2_1 (Y^0_1; Y^0_2; Y^1_1;)$ $Y^2_2 (Y^0_1; Y^0_2; Y^1_2)$ $Y^2_3 (Y^0_2; Y^1_1)$		
Чесана стрічка	2			$Y^3_1 (Y^2_1; Y^2_3; Y^3_4;)$ $Y^3_2 (Y^1_2; Y^2_2;)$ $Y^3_3 (Y^2_3; Y^3_2; Y^3_4)$	
Стрічка 1-й перехід	3				$Y^4_1 (Y^3_1; Y^3_3; Y^4_4;)$ $Y^4_2 (Y^3_2; Y^3_3; Y^4_4)$ $Y^4_3 (Y^3_3; Y^4_4; Y^4_4)$

Продовження таблиці

		(1) Гребінна стрічка 1-й стрічковий перехід	Стрічка після фарбування	Стрічка 1-й перехід після фарбування	Стрічка, 2-й перехід після фарбування	(2) гребінна стрічка, 1-й стріч. перехід
		5	6	7	8	9
Стрічка 2-й перехід	4	$Y^5_1 (Y^4_1; Y^4_3; Y^5_4)$ $Y^5_2 (Y^4_2; Y^4_3; Y^5_4)$ $Y^5_3 (Y^4_3; Y^5_2; Y^5_4)$				
(1) Гребінна стрічка 1-й стрічк.перехід	5		$Y^6_1 (Y^5_1; Y^5_3; Y^6_4)$ $Y^6_2 (Y^5_2; Y^5_3; Y^6_4)$ $Y^6_3 (Y^5_3; Y^6_2; Y^6_4)$			
Стрічка після фарбування	6			$Y^7_1 (Y^6_1; Y^6_3; Y^7_4)$ $Y^7_2 (Y^6_2; Y^6_3; Y^7_4)$ $Y^7_3 (Y^6_3; Y^7_2; Y^7_4)$		
Стрічка 1-й перехід після фарбування	7				$Y^8_1 (Y^7_1; Y^7_3; Y^8_4)$ $Y^8_2 (Y^7_2; Y^7_3; Y^8_4)$ $Y^8_3 (Y^7_3; Y^8_2; Y^8_4)$	
Стрічка, 2-й перехід після фарбування	8					$Y^9_1 (Y^8_1; Y^8_3; Y^9_4)$ $Y^9_2 (Y^8_2; Y^8_3; Y^9_4)$ $Y^9_3 (Y^8_3; Y^9_2; Y^9_4)$

Продовження таблиці

		2-га гребінна стрічка, 2-й перехід.	Стрічка для рівниці, 1-ий перехід	Стрічка для рівниці, 2-ий перехід	Стрічка для рівниці, 3-ій перехід	Стрічка для рівниці, 4-ий перехід
		10	11	12	13	14
2-га гребінна стрічка, 1-й перехід.	9	$Y^{10}{}_1 (Y^9{}_1; Y^9{}_3; Y^{10}{}_4)$ $Y^{10}{}_2 (Y^9{}_2; Y^9{}_3; Y^{10}{}_4)$ $Y^{10}{}_3 (Y^9{}_3; Y^{10}{}_2; Y^{10}{}_4)$				
2-га гребінна стрічка, 2-й перехід.	10		$Y^{11}{}_1 (Y^{10}{}_1; Y^{10}{}_3; Y^{11}{}_4)$ $Y^{11}{}_2 (Y^{10}{}_2; Y^{10}{}_3; Y^{11}{}_4)$ $Y^{11}{}_3 (Y^{10}{}_3; Y^{11}{}_2; Y^{11}{}_4)$			
Стрічка для рівниці, 1-ий перехід	11			$Y^{12}{}_1 (Y^{11}{}_1; Y^{11}{}_3; Y^{12}{}_4)$ $Y^{12}{}_2 (Y^{11}{}_2; Y^{11}{}_3; Y^{12}{}_4)$ $Y^{12}{}_3 (Y^{11}{}_3; Y^{12}{}_2; Y^{12}{}_4)$		
Стрічка для рівниці, 2-ий перехід	12				$Y^{13}{}_1 (Y^{12}{}_1; Y^{12}{}_3; Y^{13}{}_4)$ $Y^{13}{}_2 (Y^{12}{}_2; Y^{12}{}_3; Y^{13}{}_4)$ $Y^{13}{}_3 (Y^{12}{}_3; Y^{13}{}_2; Y^{13}{}_4)$	
Стрічка для рівниці, 3-ій перехід	13					$Y^{14}{}_1 (Y^{13}{}_1; Y^{13}{}_3; Y^{14}{}_4)$ $Y^{14}{}_2 (Y^{13}{}_2; Y^{13}{}_3; Y^{14}{}_4)$ $Y^{14}{}_3 (Y^{13}{}_3; Y^{14}{}_2; Y^{14}{}_4)$

Продовження таблиці

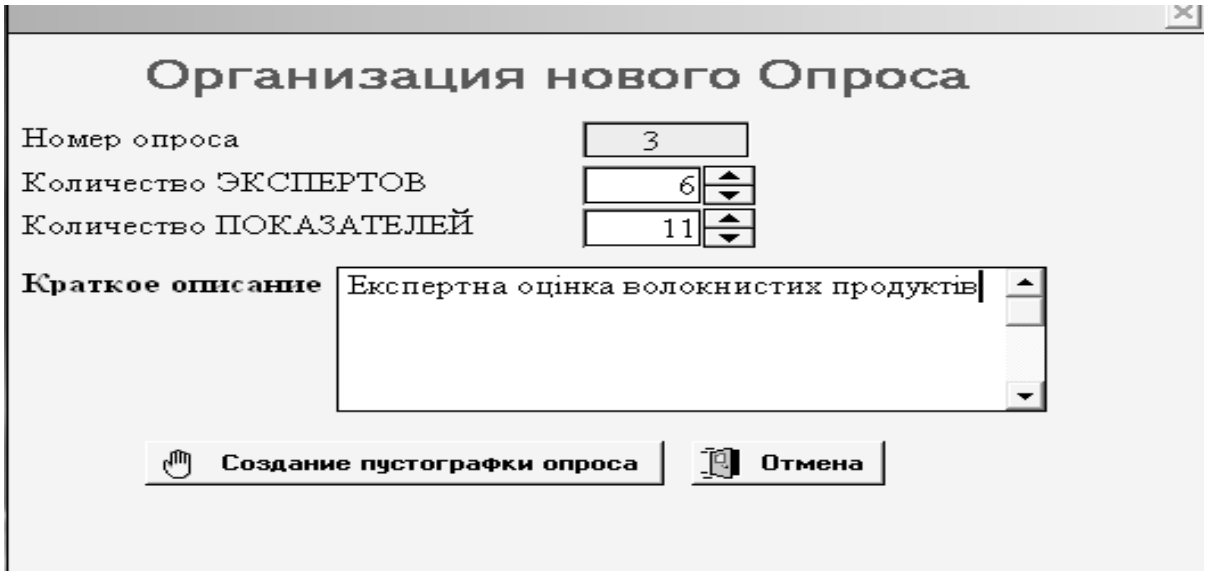
		Рівниця	Одиночна пряжа	Кручена пряжа
		15	16	17
Стрічка для рівниці, 4-ий перехід	14	$Y^{15}_1 (Y^{14}_1; Y^{14}_3; Y^{15}_7)$ $Y^{15}_2 (Y^{14}_2; Y^{14}_3; Y^{15}_7)$ $Y^{15}_3 (Y^{14}_3; Y^{15}_2; Y^{15}_5; Y^{15}_7)$ $Y^{15}_4 (Y^{15}_1; Y^{15}_3; Y^{15}_5)$ $Y^{15}_6 (Y^{15}_2; Y^{15}_3; Y^{15}_7)$		
Рівниця	15		$Y^{16}_1 (Y^{15}_1; Y^{15}_3; Y^{16}_8)$ $Y^{16}_2 (Y^{15}_2; Y^{15}_3; Y^{15}_6)$ $Y^{16}_4 (Y^{16}_1; Y^{16}_5; Y^{0}_3)$ $Y^{16}_6 (Y^{15}_3; Y^{16}_2; Y^{16}_8)$ $Y^{16}_7 (Y^{15}_3; Y^{16}_1; Y^{16}_5; Y^{16}_8)$	
Одиночна пряжа	16			$Y^{17}_1 (Y^{16}_1; Y^{16}_5; Y^{17}_6)$ $Y^{17}_2 (Y^{16}_2; Y^{16}_6)$ $Y^{17}_4 (Y^{17}_1; Y^{16}_5; Y^{17}_6)$ $Y^{17}_5 (Y^{16}_7; Y^{17}_1; Y^{16}_5; Y^{17}_6)$ $Y^{17}_7 (Y^{17}_1; Y^{17}_2)$

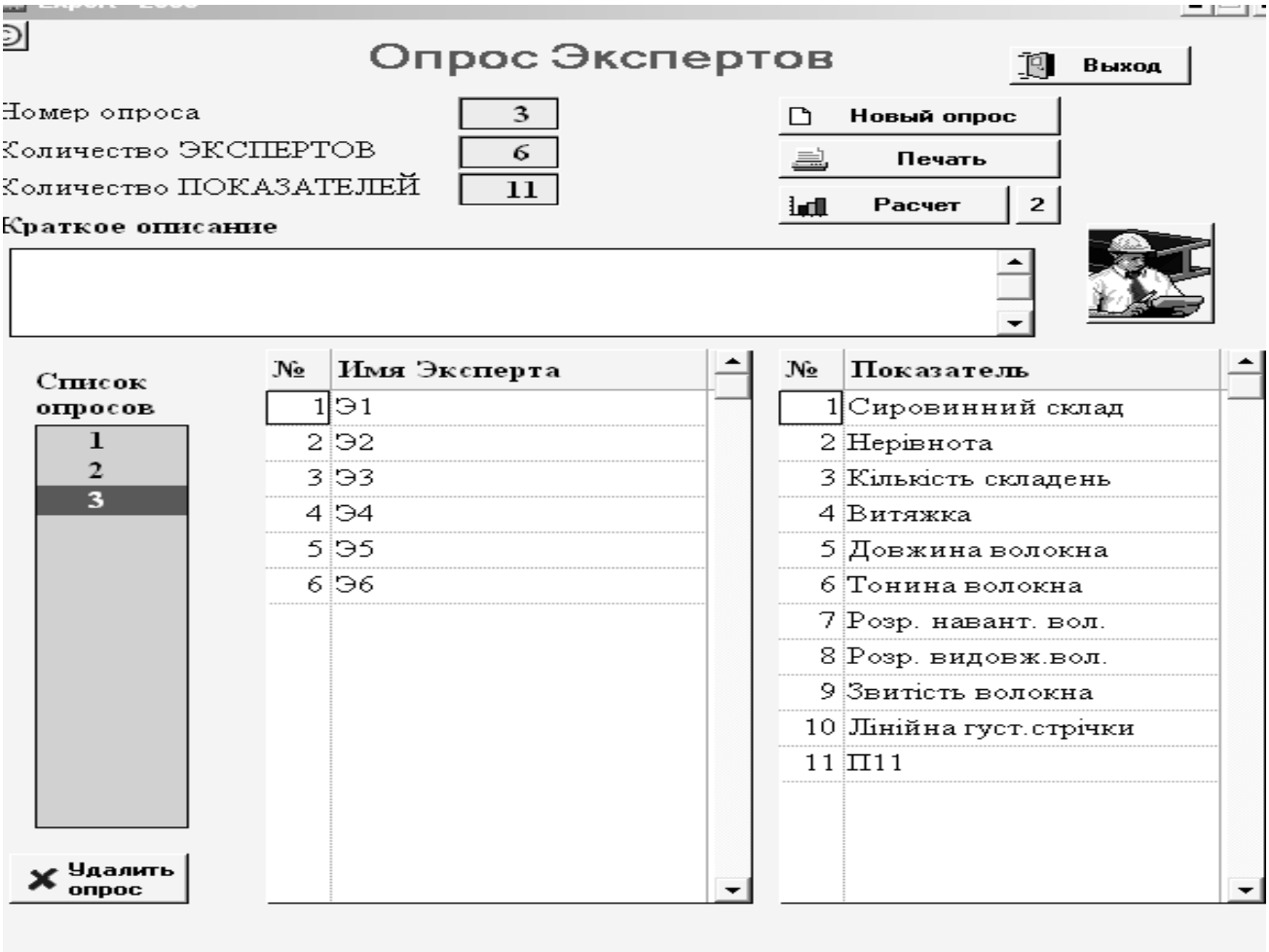
Закінчення таблиці

		Сирова тканина	Готова тканина
		18	19
Кручена пряжа	17	$Y^{18}_2 (Y^{17}_1; Y^{18}_4; Y^{18}_5)$ $Y^{18}_3 (Y^{17}_1; Y^{18}_1; Y^{18}_4; Y^{18}_5)$ $Y^{18}_6 (Y^{17}_1; Y^{18}_4)$ $Y^{18}_7 (Y^{17}_1; Y^{18}_5)$ $Y^{18}_8 (Y^{17}_1; Y^{17}_4; Y^{18}_4)$	
Сирова тканина	18		$Y^{19}_1 (Y^{18}_2; Y^{19}_3; Y^{19}_4)$ $Y^{19}_2 (Y^{18}_3; Y^{18}_{10}; Y^{19}_3; Y^{19}_4)$ $Y^{19}_5 (Y^{18}_6; Y^{19}_3)$ $Y^{19}_6 (Y^{18}_7; Y^{19}_4)$ $Y^{19}_7 (Y^{18}_8; Y^{19}_3)$ $Y^{19}_8 (Y^{18}_9; Y^{19}_4)$ $Y^{19}_9 (Y^{16}_5; Y^{17}_6; Y^{19}_3)$ $Y^{19}_{10} (Y^{16}_5; Y^{17}_6; Y^{19}_4)$ $Y^{19}_{11} (Y^{16}_5; Y^{17}_6; Y^{19}_1; Y^{19}_3)$ $Y^{19}_{12} (Y^{17}_6; Y^{19}_{13}; Y^{19}_3; Y^{19}_4)$ $Y^{19}_{13} Y^{17}_6; Y^{19}_{13}; Y^{19}_3; Y^{19}_4)$

Додаток Б

Інтерфейс експертного оцінювання показників якості текстильних матеріалів





Монографія

Слізков Андрій Миколайович
Щербань Володимир Юрійович
Краснитський Сергій Михайлович
Демківська Тетяна Іванівна

Прогнозування фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів побутового призначення

Рекомендовано Вченою радою КНУТД
для студентів напряму підготовки
6.051601 «Технологія та дизайн текстильних матеріалів»
та фахівців текстильної промисловості
(пр. № 1 від 26.09.2013р.)