

УДОСКОНАЛЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТОВАРІВ

DOI: [https://doi.org/10.31617/2.2025\(54\)07](https://doi.org/10.31617/2.2025(54)07)
УДК 677.07-021.465=111



СЛИЗКОВ Андрій

<https://orcid.org/0000-0002-2693-7147>

д.т.н., професор, професор кафедри товарознавства та митної справи Державного торговельно-економічного університету
вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна
a.slizkov@knute.edu.ua

КРАСНИТСЬКИЙ Сергій

<https://orcid.org/0000-0003-1856-2215>

д. ф.-м.н., професор, професор кафедри комп'ютерних наук Київського національного університету технологій та дизайну
вул. Мала Шияновська, 2, м. Київ, 01011, Україна
krasnits.sm@ukr.net

МИХАЙЛОВА Галина

<https://orcid.org/0000-0002-1083-5875>

д. т. н., доцент, професор кафедри товарознавства та митної справи Державного торговельно-економічного університету
вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна
h.mykaylova@knute.edu.ua

SLIZKOV Andrii

<https://orcid.org/0000-0002-2693-7147>

Doctor of Sciences (Technical), Professor, Professor of the Department of Commodity Science and Customs Affairs State University of Trade and Economics
19, Kyoto St., Kyiv, 02156, Ukraine
a.slizkov@knute.edu.ua

KRASNITSKIY Sergiy

<https://orcid.org/0000-0003-1856-2215>

Doctor of Sciences (Physical and Mathematical), Professor, Professor of the Department of Computer Science Kyiv National University of Technology and Design
2, Mala Shyianovska St., Kyiv, 01011, Ukraine
krasnits.sm@ukr.net

MYKHAILOVA Halyna

<https://orcid.org/0000-0002-1083-5875>

Doctor of Sciences (Technical), Associate Professor, Professor of the Department of Commodity Science and Customs Affairs State University of Trade and Economics
19, Kyoto St., Kyiv, 02156, Ukraine
h.mykaylova@knute.edu.ua

СИСТЕМНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ПРЯДИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Прогнозування властивостей продукції та управління її якістю полягає в забезпеченні та підтриманні необхідного рівня якості продукції, починаючи з її розробки, виробництва, експлуатації або споживання. Ці заходи здійснюються шляхом систематичного контролю та визначеної дії на умови та фактори, які впливають на якість

SYSTEMATIC FORECASTING OF PRODUCT QUALITY OF SPINNING PRODUCTION

Forecasting product properties and managing its quality consists in ensuring and maintaining the required level of product quality starting from its development, production and operation or consumption. These measures are carried out through systematic control and specific action on the conditions and factors that affect product quality, to forecast its



Copyright © 2025, Автор (и). Це стаття відкритого доступу, яка розповсюджується на умовах ліцензії [Creative Commons Attribution License 4.0 \(CC-BY\) Міжнародна ліцензія](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

продукції, для прогнозування її властивостей та виготовлення виробів із заданими властивостями. Безпосередньо завдання прогнозування пов'язані з наявністю адекватних математичних моделей зміни властивостей продукції в процесі її виробництва. Гіпотеза цієї роботи полягає в тому, що системний підхід є основою до створення сучасного підходу до отримання математичної моделі прогнозування властивостей та якості волокнистих продуктів. Визначено підходи до прогнозування властивостей текстильних ниток та виробів у процесі виробництва шляхом застосування системного аналізу та математичного моделювання. Запропоновано загальний алгоритм процесу та структурно-функціональну модель елементарної чарунки виробничого процесу перетворення властивостей продукції. Для визначення стану технологічної системи виробництва текстильних ниток та виробів використано методи системного аналізу та математичного моделювання властивостей продукції в процесі її виробництва. Моделювання систем управління та прогнозування якості продукції містить опис послідовності виконання процесів та операцій, які формують властивості готової продукції та напівфабрикатів, і направлені на забезпечення, підтримання та покращання 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 управління її якістю дає змогу попередньо визначити та оцінити результати тих або інших заходів і вибрати для реалізації ті з них, які є найбільш ефективними. Основою математичної моделі прогнозування властивостей та управління якістю продукції текстильного виробництва може бути прийнята модель виробничого перетворення похідних матеріалів в готову продукцію.

Ключові слова: математичне моделювання, прогнозування, властивості продукції, системний аналіз, текстильна нитка, виріб, виробничий процес.

JEL Classification: O32, O33.

Вступ

Сьогодні математичне моделювання досить широко застосовується для прогнозування властивостей продукції різного призначення

properties and manufacture products with specified properties. Forecasting tasks are directly related to the availability of adequate mathematical models of product properties change during its production process. The hypothesis of this work is that a systems approach is the basis for creating a modern approach to obtaining a mathematical model for predicting the properties and quality of fiber products. The article defines approaches to forecasting the properties of textile threads and products during production by applying system analysis and mathematical modeling. A general process algorithm and a structural and functional model of the elementary cell of the production process of transforming product properties are proposed. To determine the state of the technological system for the production of textile threads and products, methods of system analysis and mathematical modeling of product properties during its production process are used. Modeling of product quality management and forecasting systems includes a description of the sequence of processes and operations that form the properties of finished products and semi-finished products, and are aimed at ensuring, maintaining and improving product quality. Using a mathematical model, quantitative relationships between the quality indicators of finished products and the properties of derived raw materials, semi-finished products, technological equipment and management actions by the relevant authorities are determined. The use of mathematical models for predicting product properties and managing its quality allows you to pre-determine and evaluate the results of certain measures and select those of them that are most effective for implementation. The basis of a mathematical model for predicting the properties and quality management of textile products can be a model of the production transformation of derived materials into finished products.

Keywords: mathematical modeling, forecasting, product properties, systems analysis, textile thread, product, production process.

в багатьох галузях сучасного господарства. Для побудови адекватних математичних моделей технологічних процесів потрібен детальний аналіз технологічного процесу, його фізичної суті. Математичні моделі можуть отримувати за допомогою теоретичних та експериментальних підходів.

Технологічні процеси текстильного виробництва, які пов'язані з виготовленням пряжі, є складними та розгалуженими. Це пояснюється значною кількістю різних факторів, які впливають на властивості продуктів прядильного виробництва та пряжі в цілому.

Для визначення властивостей сировини та продуктів прядильного виробництва лабораторії застосовують різні методи та прилади. Визначення показників властивостей продуктів прядильного виробництва здебільшого мають вибірковий характер, що може призвести до суттєвих похибок. Відповідно до цього отримані з використанням таких даних теоретичні математичні моделі можуть бути некоректними. Тому суто теоретичний підхід до побудови математичних моделей та прогнозування властивостей продуктів прядильного виробництва не є доцільним. При теоретичному підході допускається застосування певних абстракцій, які призводять до спрощення реального продукту дослідження. Також у теоретичні математичні моделі вводяться поправні коефіцієнти, які мають досить довільний вибір їх числових значень. Такий теоретичний підхід для побудови математичних моделей зазвичай використовують для проектування нових процесів, а також у науково-дослідних роботах.

При експериментальному підході побудови математичних моделей технологічних процесів застосовують експериментальні значення властивостей і продуктів технологічного процесу, які отримують безпосередньо на діючому устаткуванні, у лабораторних умовах або на стенді, який моделює фізичний процес отримання пряжі.

Завдяки широкому застосуванню на текстильних виробництвах та дослідних лабораторіях засобів обчислювальної техніки та мікропроцесорів використовують методи імітаційного математичного моделювання (Чуйко, 2015; Павленко, 2013, Грод, 2016).

Нині прогнозування властивостей текстильних матеріалів математичними методами із застосуванням сучасної обчислювальної техніки є перспективним та актуальним і дає змогу оперативно робити попередні висновки про властивості текстильних матеріалів ще на етапі їх проєктування.

Метою цієї статті є висвітлення нового підходу до побудови математичних моделей із застосуванням системного аналізу для прогнозування властивостей текстильних ниток та виробів, а також управління їх якістю. Порівняно з попередніми дослідженнями сьогодні спостерігаються зміни в технологічних процесах та застосуванні сучасного устаткування, що вносить суттєве коригування в побудову математичної моделі. Для цього потрібно мати оперативну інформацію про роботу

технологічної системи та усіх її елементів. Своєчасне реагування на зміну виробничої ситуації надасть можливість вчасно впливати на властивості продукції та оптимізувати процес її виробництва.

Гіпотеза цієї праці полягає в тому, що системний підхід є основою створення сучасного підходу до отримання математичної моделі прогнозування властивостей та якості волокнистих продуктів.

Цієї мети можна досягнути за допомогою системного підходу та математичного моделювання прогнозування зміни властивостей та якості текстильних ниток і виробів у процесі їх виробництва. Для цього потрібно скласти загальний алгоритм системи та визначити основні структурно-функціональні моделі та блоки перетворення властивостей продукції у процесі її виробництва.

1. Основна інформація

Математична модель (*Chattopadhyay, 2015*) є потужним інструментом в інженерії для вивчення різноманітних проблем, пов'язаних з проектуванням і розробленням продуктів і процесів, оптимізацією виробничого процесу, розумінням явища та прогнозуванням поведінки продукту під час фактичного використання. Для розроблення моделей необхідно розуміння процесу та використання відповідних математичних інструментів. Розглянуто різні типи моделей, процедури їх розроблення та їхні обмеження.

Так, *Beyreuther (2007)* моделювання основних процесів формування та обробки волокна розглядав у стаціонарному та нестаціонарному режимах. Основними напрямками є процеси прядіння з розплаву, процеси прядіння пряжі та опис динаміки на різних етапах процесу під час обробки волокна. Окремий ним розглянуто динаміку сили розтягу та її значення для стабільності процесу. Усі приклади базуються на промисловій практиці.

У виданні (*Velten, 2009*) проаналізовано найважливіші питання в галузі моделювання. Представлено різні математичні моделі та їх типи. Визначено, яка модель підходить для конкретної проблеми. Висвітлено питання про моделювання, оцінку параметрів та її перевірку. Також розглянуто математичні проблеми, які виникають, і як їх можна ефективно розв'язувати за допомогою професійного безкоштовного програмного забезпечення з відкритим кодом.

Розвиток моделювання виробничого процесу привертає все більшу увагу текстильної промисловості (*He, Xu, 2021*). Дедалі більше дослідників переводять увагу від класичних методів на інтелектуальні методи моделювання процесів, оскільки традиційні методи навряд чи можуть відобразити складні взаємозв'язки численних факторів процесу та характеристик. Систематично проаналізовано наукові джерела, що досліджують моделювання текстильного виробництва. Структура цієї статті відповідає процедурі текстильних процесів від пряжі до тканини,

а потім до одягу. Аналіз та обговорення попередніх досліджень проведено щодо різних застосувань у різних процесах. Фактори та властивості продукції, які розглянуто під час моделювання процесу, зібрано для порівняння. Вхідні дані, вибір характеристик, методів моделювання, розподіл даних та оцінка продуктивності визначено шляхом аналізу попередніх досліджень та підсумовано.

Складні фактори застосування технологічного процесу обробки текстилю та наслідки його озонування з вицвітанням кольору досліджено за допомогою моделювання процесу (He, Tran, 2019). Для цього визначено фактори: *pH* розчину, температури, поглинання води, часу процесу та початкового кольору текстилю, що впливає на продуктивність кольору реактивно пофарбованої бавовни з використанням різних реагентів. Зазначено, що більш доцільно буде використовувати ті реагенти, які в реальному застосуванні мають краще прогнозування продуктивності та меншу вартість.

Текстильне виробництво є типовою традиційною галуззю, яка має високу складність взаємопов'язаних процесів з обмеженими можливостями щодо застосування сучасних технологій (He, Tran, Thomassey, 2021). Під час ухвалення рішень у цій сфері зазвичай до уваги беруть кілька критеріїв, що викликає труднощі. Щоб вирішити цю проблему, в дослідженні запропоновано систему підтримки прийняття рішень, яка поєднує інтелектуальні моделі випадкового лісу на основі даних, багато-критеріальну структуру аналітичного ієрархічного процесу, засновану відповідно до мети на людських знаннях, та суб'єктивні чинники процесу виготовлення текстилю.

Зазначено (Song, 2025), що моделювання прогнозованого керування є потужною технікою керування складними та динамічними системами, демонструючи переваги перед традиційними стратегіями керування з точки зору продуктивності та надійності. Воно має на меті забезпечити вичерпний огляд теорії моделювання прогнозованого керування та її застосування в різноманітних складних динамічних системах.

У праці (Beltran, 2006) представлено модель багатошарового алгоритму з метою побудови інструменту прогнозування ефективності процесу прядіння. Різні прядильні фабрики використовують різну сировину, методи обробки та обладнання, що впливає на якість виробленої пряжі. Через велику кількість змінних існує складність у розробленні універсальної емпіричної/теоретичної моделі. Для прогнозування ключових властивостей пряжі та продуктивності прядіння використовують 16 вхідних даних, включаючи кількість волокон у поперечному перерізі, нерівність (*U%*), тонкі місця, вирізи, міцність пряжі, подовження при розриві, товсті місця та прядіння кінцями вниз. Результати перевірки моделі на наборі комерційних даних конкретного підприємства свідчать, що загальна відповідність цільовим значенням є хорошою.

Важливим аспектом прядіння (Sette, 2000) є можливість передбачити здатність прядіння пряжі та її результуючу міцність на основі

якості волокна та налаштувань машини. Доступні моделі прядіння волокна до пряжі обмежуються підходом так званої "чорної скрині", що генерує вихід без фізичної інтерпретованої інформації про сам процес. У цьому дослідженні представлено метод прогнозування прядивості та міцності пряжі. Визначено, що результуюча точність прогнозу є хорошою, і, що більш важливо, також надає додаткову якісну інформацію про хід процесу прядіння.

У статті (Lomon, 2001) розглянуто моделювання текстильних композитів. Для цього використано переваги ієрархічного принципу моделювання текстилю, завдяки створенню інтегрованого інструменту моделювання та проєктування текстильних композитів. Це дає змогу швидко обробляти складні обчислення структури текстилю за комп'ютерний час, який обчислюється хвилинами, а не годинами тієї самої нелінійної, неконсервативної поведінки ниток під час стиснення та згинання. Архітектура коду, що реалізує модель, відповідає ієрархічній структурі текстильних матеріалів. Модель текстильної геометрії є основою для мезомеханічних моделей і моделей проникності для композитів, які надають інструменти моделювання для аналізу обробки та властивостей композиту.

Важливість математичного моделювання та прогнозування підкреслено у працях (Чуйко, 2015, Павленко, 2013, Грод, 2016, Щербань, 2003). Так, Чуйко (2015) визначив основні методи математичного моделювання вхідного впливу параметрів сировини та технологічного устаткування з різними параметрами, підприємств і виробничих процесів як об'єктів, а також методи комп'ютерного моделювання систем у різних математичних середовищах.

Павленко (2013) визначено загальну методику математичного моделювання для побудови моделей і формалізованого опису систем та процесів. Суттєву увагу приділено можливостям сучасних інформаційних технологій з моделювання, аналізу, синтезу та оптимізації процесів і систем.

У праці (Грод, 2016) описані основні принципи та методологічні аспекти теорії систем, а також особливості методів комп'ютерного моделювання різних об'єктів.

У роботі (Слізков, 2013) представлено існуючі на той час підходи до математичного моделювання технологічних процесів. Поряд з цим, зважаючи на розвиток техніки та технології текстильного виробництва, за останні роки виникла потреба в значному коригуванні існуючих підходів до математичного моделювання технологічних ланцюжків для отримання пряжі відповідних властивостей та якості.

Суттєву увагу до системного підходу та аналізу математичних методів моделювання властивостей текстильних матеріалів приділено в статтях (Слізков, 2006, 2009). Також визначено методи отримання адекватних математичних моделей властивостей текстильних матеріалів

для їх прогнозування. Розв'язок задач системного підходу до прогнозування властивостей текстильних матеріалів пов'язаний з наявністю програмних засобів побудови таких математичних моделей, які могли б адаптуватися до змін властивостей у процесі виробництва. Функціонування всієї системи прогнозування властивостей текстильних матеріалів та управління ними в процесі виробництва та експлуатації повинно надавати можливість прогнозування як усієї системи в цілому, так і окремих її складових.

Таким чином, питання математичного моделювання системи прогнозування властивостями та якістю текстильних ниток та виробів з використанням системного підходу залишається актуальним.

2. Результати та обговорення

Волокнисті продукти прядильного виробництва (волокниста маса, стрічки, рівниці, пряжа) мають дискретну структуру, яка визначається особливістю розташування волокон, що мають різні характеристики (довжину, лінійну густину, звитість тощо).

Для отримання адекватних математичних моделей продуктів прядильного виробництва доцільно мати достатнє співвідношення між повнотою опису і конкретністю його результатів та зручністю користування з визначеними статистичними даними властивостей продукту. Для цього запропоновано застосовувати пасивні експериментальні методи збирання статистичної інформації про показники властивостей волокнистих продуктів під час їх динамічного перетворення в процесі кожного технологічного переходу виробництва пряжі. Такий підхід містить збір статистичної інформації про вхідні та вихідні показники волокнистих продуктів на кожному технологічному переході виготовлення пряжі.

Для опрацювання значного обсягу статистичної інформації потрібно застосування обчислювальної техніки з пакетами програм обробки даних. Крім цього, розроблено програмне забезпечення управління базами даних у системі прогнозування властивостей продуктів прядильного виробництва.

Для формування баз даних системи прогнозування властивостей продуктів прядильного виробництва досліджено шляхом аналізу відповідних статистичної інформації на кожному етапі виробничого процесу. Для кожного волокнистого продукту прядильного виробництва визначено такі елементарні комплекси: жмутки (для волокнистої маси до тіпання та після тіпання); волокна та їх групи (для стрічки, рівниці та одиночної пряжі).

Обраховавши статистичну інформацію, отримано математичні моделі для кожного волокнистого продукту. Після цього угруповано математичні моделі всіх комплексів волокнистих продуктів прядильного виробництва. Таким чином отримано загальну математичну модель усієї системи прогнозування властивостей продуктів прядильного виробництва.

У цілому системний аналіз прогнозування властивостей волокнистих продуктів прядильного виробництва можна поділити на такі етапи: визначення та чітке формулювання мети функціонування системи; вибір показників ефективності функціонування системи; складання переліку факторів, які діють на систему; отримання математичних моделей показників властивостей матеріалів та створення загальної математичної моделі системи. Фактори, які діють на систему, визначаються видом сировини, устаткування, рівнем його обслуговування тощо. В процесі виробництва пряжі статистична інформація для кожного волокнистого продукту постійно доповнюється та оновлюється. Це дає змогу збільшити бази даних системи, підвищити точність прогнозування, досягти зручного та швидкого доповнення і коригування математичної моделі, отримати результати і прийняти рішення для кожного виду сировини та пряжі.

Система прогнозування властивостей волокнистих продуктів прядильного виробництва належить до складних систем, у яких процес перетворення властивостей матеріалів від сировини до випуску готової пряжі важко описати у вигляді однієї простої системи. Тому таку систему доцільно розподілити на підсистеми, які можуть містити від двох та більше операцій виробничого перетворення волокнистих продуктів. Виробничі ділянки з виготовлення пряжі доцільно розглядати як систему підпроцесів, які відбуваються на машинах і агрегатах, та формують властивості волокнистих продуктів, а не просто як систему машин і агрегатів.

У процесі математичного моделювання систем прогнозування властивостями та якістю волокнистих продуктів визначають усі управлінські та виробничі ділянки, які формують та підтримують ці властивості та якість. Математична модель допомагає визначати зв'язки між властивостями похідної сировини та вихідної продукції. Використовуючи можливості управлінського впливу на параметри технологічного процесу, можна прогнозувати зміни властивостей вихідної продукції, до яких слід віднести виробничі напівфабрикати та готову продукцію.

Використовуючи математичні моделі системи прогнозування властивостями та якістю волокнистої продукції, потрібно проаналізувати, наскільки її результати збігаються з реальними результатами експериментальних досліджень з відповідною точністю. У випадку суттєвих розбіжностей така математична модель потребує доопрацювання та уточнення.

За основу зазначеної математичної моделі доцільно взяти моделювання процесу виробничого перетворення властивостей сировини на властивості напівфабрикатів на кожній ділянці виробничого процесу та кінцеву (готову) продукцію. При цьому потрібно враховувати усі фактори, які можуть впливати на досліджуваний виробничий процес виготовлення пряжі.

Відповідно для побудови математичної моделі прогнозування властивостей та якості текстильних ниток і виробів з них на початковому етапі будується загальний алгоритм зазначеної системи (рис.1).



Рис. 1. Загальний алгоритм прогнозування властивостей волокнистих виробів прядильного виробництва

Джерело: складено авторами.

Алгоритм містить послідовні операції, які необхідні для ухвалення рішень та дій, які потрібні для визначення якості вихідної продукції.

На початковому етапі створення математичної моделі будується загальна структурно-функціональна схема прогнозування властивостей та управління якістю продукції. В подальшому визначають параметри та нормовані значення властивостей матеріального потоку, починаючи від сировини, напівфабрикатів і закінчуючи вихідною продукцією. Наступний етап містить дослідження якісного та кількісного перетворення властивостей продукції на кожному виробничому перетворенні матеріального потоку (сировина, напівфабрикати та готова продукція) з урахуванням технологічних та управлінських факторів. Надалі формують математичну модель процесу прогнозування властивостей та якості продукції і визначають оптимальні або прогнозовані параметри властивостей продуктів прядильного виробництва. В подальшому на рівні управління ухвалюють оптимальні рішення з розробленням рекомендацій та відповідних нормативних документів для прогнозованого функціонування технологічного режиму виготовлення продукції на базі отриманої математичної моделі.

Важливим елементом у створенні математичної моделі прогнозування є відповідність вихідних властивостей продуктів прядильного виробництва, які визначаються експериментальним чином, їх прогнозованим значенням при дотриманні визначеної точності вимірювань. При суттєвих відхиленнях фактичних значень властивостей матеріального потоку від прогнозованих на кожному технологічному переході виготовлення пряжі (напівфабрикати та вихідна продукція) здійснюється аналіз усіх факторів, які можуть спричинити відповідні відхилення, коригування та уточнення математичної моделі.

Завершальний етап алгоритму – створення математичної моделі системи прогнозування властивостями волокнистих продуктів прядильного виробництва з представленням рекомендацій та програмних засобів.

Загалом виробничий процес виготовлення пряжі можна представити у сукупності послідовних операцій, які визначає певний оператор T перетворення похідного матеріального потоку $m_0(t)$ у вихідний $m(t)$. З урахуванням усіх виробничих та управлінських факторів, які можуть впливати на зміну властивостей похідного матеріального потоку, математична модель перетворення властивостей продукції може бути визначена таким рівнянням:

$$m(t) = T [m_0(t), B_T(u), k, E, S], \quad (1)$$

де $B_T(u)$ – параметри перетворень волокнистого продукту; u – дії управління, які впливають на параметри перетворення; k – характеристики робочих кадрів; S – умови навколишнього середовища; E – параметри енерговитрат для підтримання виробничого процесу.

Таким чином, $m(t)$ є математичною моделлю вихідного матеріального потоку, який містить певні властивості вихідної продукції $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, що формують рівень її якості.

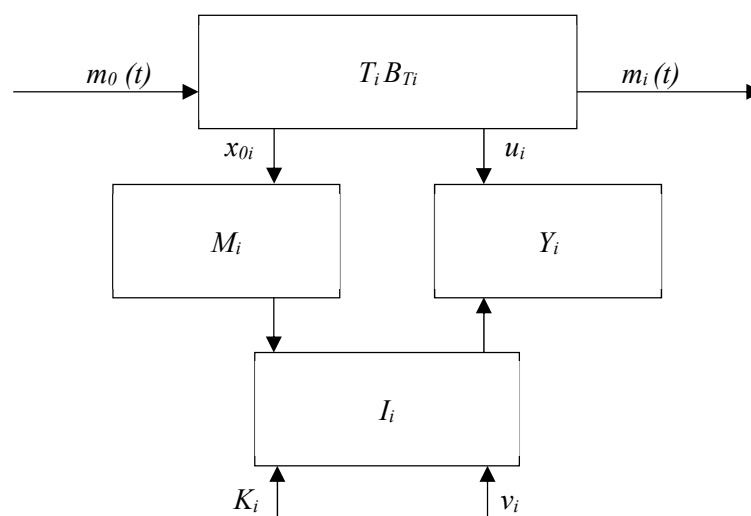
У систему прогнозування якості продукції доцільно ввести її кількісний показник якості K , який визначається таким функціоналом:

$K = T^n [m(t)] = t_2 / t_1$, де t_1 та t_2 – показники інтервалу часу, між якими визначається якість продукції. Зазначений функціонал у системі прогнозування є цільовою функцією, яка залежить від вибору дій управління u , що націлені на оптимізацію показників якості волокнистої продукції. При цьому в систему вводяться певні обмеження на параметри k, E та S функції вихідного матеріального потоку $m(t)$ із збереженням заданих значень властивостей похідного матеріального потоку $m_0(t)$.

У системі прогнозування властивостей та якості волокнистих продуктів необхідно знати, який вид має загальний оператор T перетворення властивостей продукції у процесі її виготовлення. Вид такого оператора визначається в результаті детального аналізу виробничого процесу перетворення властивостей волокнистих продуктів. Враховуючи складність та багатофакторність такого виробничого процесу, його доцільно розкласти на більш прості виробничі процеси, що можуть бути описані відповідними операторами T_i , які в подальшому формують загальний оператор T .

Відповідно до зазначеного насамперед доцільно визначити прості (елементарні) виробничі чарунки, в яких відбувається простий виробничий (технологічний) процес. Поєднання таких чарунок у цілому утворює загальну виробничу (технологічну) систему перетворення властивостей похідних волокнистих продуктів у вихідну (готову) продукцію.

Кожна проста виробнича чарунка, відповідно до певного технологічного процесу, має свої особливості, які визначаються різними параметрами функції $m(t)$, згідно з рівнянням (1). Структурно-функціональну модель такої простої чарунки представлено на *рис 2*.



T_i – ділянка виробничого перетворення волокнистого продукту (матеріального потоку); B_{T_i} – параметри властивостей волокнистого продукту; M_i – ділянка метрологічного забезпечення; I_i – ділянка інформаційно-логічного управління; Y_i – виконавча ділянка; x_{0i} – певна характеристика волокнистого продукту; u_i – відповідна дія управління; v_i – зовнішні дії управління.

Рис. 2. Структурно-функціональна модель елементарної чарунки

Джерело: складено авторами.

Відповідно до структурно-функціональної моделі елементарної чарунки на ділянці T_i , здійснюється виробниче перетворення згідно з технологічним режимом або інша матеріальна дія. Ділянка M_i , відповідає за отримання оперативної інформації про властивості волокнистих продуктів інструментальним або візуальним способом. Ділянка I_i , відповідає за дії управління, на якій використовують інформацію, отриману від метрологічної ділянки M_i і визначають поточну реальну ситуацію, порівнюючи її із цільовою моделлю K_i , яка містить нормовані або задані вимоги, що дає змогу визначити відповідні дії управління.

На виконавчій ділянці Y_i інформація, отримана від певної характеристики волокнистого продукту x_{0i} , перетворюється в дію управління u_i , що безпосередньо впливає на зміну параметрів властивостей волокнистого продукту (потoku) B_{T_i} , та дає змогу здійснювати відповідні прогнозовані зміни на відповідній ділянці T_i , виробничого перетворення волокнистого продукту. Залежно від завдань виробництва і від

виробничого управління вищого рівня на ділянку I_i , можуть бути спрямовані зовнішні дії v_i , які визначаються умовами контракту або потребами виробництва.

Зміна властивостей волокнистого продукту в i -й елементарній чарунці може бути описана системою таких операторних рівнянь:

$$m_i(t) = T_i [m_{0i}(t - \Delta t), B_{T_i}(u_i), k_i, S_i, E_i] \quad (2)$$

$$u_i = Y_i(x_{0i}), \quad u_i = I_i(\sum K_i, \sum v_i); \quad (3)$$

$$\sum K_i = M_i[m_{0i}(t), B_{T_i}]; \quad (4)$$

Представлена система рівнянь є загальним виглядом математичної моделі кожної елементарної чарунки, яка визначає зміну властивостей волокнистого продукту на кожному технологічному переході. Залежно від особливості оператора T_i , представлені рівняння можуть мати певне фізичне значення.

Для кожного моменту часу виробниче перетворення властивостей волокнистого продукту буде визначатися його відповідними значеннями, а також параметрами відповідних факторів, які характеризують систему. Кількість факторів, які можуть впливати на виробничу систему перетворення властивостей волокнистого продукту є досить значною, тому для спрощення задачі прогнозування доцільно визначити незначну кількість незалежних один від одного параметрів (факторів), які достатньо повно характеризують систему з метою досягнення визначеної мети прогнозування.

Виробничий цикл отримання пряжі є складною системою, яка поєднує між собою певні виробничі підсистеми (ділянки, цехи тощо), де здійснюється перетворення властивостей волокнистого продукту (сировини, напівфабрикатів). Такі підсистеми фактично є блоками виробничого процесу, які містять певні елементарні чарунки перетворення волокнистого продукту в напівфабрикати та пряжу. Такі блоки, поєднуючись між собою, відповідно складають систему прогнозування властивостей та якості волокнистих продуктів прядильного виробництва.

Висновки

Гіпотезу щодо важливості системного підходу при отриманні математичної моделі прогнозування властивостей та якості волокнистих продуктів підтверджено.

Для математичного моделювання системи прогнозування властивостей та якості волокнистих продуктів прядильного виробництва доцільно прийняти математичну модель виробничої зміни властивостей похідних матеріалів у пряжу. Це дає змогу закласти задані параметри продукції, які будуть визначати її якість.

Створення математичної моделі прогнозування базується на розробленому загальному алгоритмі прогнозування властивостей волокнистих продуктів прядильного виробництва, який містить послідовні операції, що необхідні для прийняття рішень та дій, які потрібні для визначення прогнозованої якості вихідної продукції.

Виробничий цикл отримання пряжі поєднує певні виробничі ділянки (виробництва, цехи тощо), де здійснюється перетворення властивостей волокнистого продукту (сировини, напівфабрикатів), які фактично є підсистемами загальної системи виготовлення пряжі. Такі підсистеми утворюють блоки виробничого процесу, які містять певні елементарні чарунки перетворення волокнистого продукту в напівфабрикати та пряжу. Такі блоки, поєднуючись між собою, відповідно складають систему прогнозування властивостями та якістю волокнистих продуктів прядильного виробництва.

Застосування системного підходу до прогнозування властивостей та якості волокнистих продуктів прядильного виробництва шляхом аналізу підсистем (блоків виробничого процесу) технологічного процесу з елементарними чарунками дає змогу конкретизувати загальний алгоритм, який може бути основою для створення математичних моделей прогнозування властивостей продукції, що можна використовувати для задач прогнозування властивостей та якості різних волокнистих продуктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCE

Beltran, R., Wang, L., & Wang, X. (2006). Mill specific prediction of worsted yarn performance mill specific prediction of worsted yarn. *J Text Instit.*, 97(1), 11–16. <https://doi.org/10.1533/joti.2005.0134>

Chattopadhyay, R. A. (2015). Review on Mathematical Modeling for Textile Processes. *J. Inst. Eng. India Ser. E.*, 96(2). <https://doi.org/10.1007/s40034-015-0057-1>.

He, Z., Tran, K. P., Thomassey, S., Zeng, X., & Yi., C. (2021). A deep reinforcement learning based multi-criteria decision support system for optimizing textile chemical process. *Comput. Ind.*, 125:103373. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103373>

He, Z., Tran, K. P., Zeng, X., Xu, J., & Yi, C. (2019). Modeling color fading ozonation of reactive-dyed cotton using the extreme learning machine, support vector regression and random forest. *Text Res.*, 90(7-8). <https://doi.org/10.1177/0040517519883059>

He, Z., Xu, J., Tran, K. P. et al. (2021). Modeling of textile manufacturing processes using intelligent techniques: a review. *Int J Adv Manuf Technol.*, 116(11). <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07444-1>

Lomov, S. V., Huysmans, G., Luo Y., Parnas R. S., Prodromou A., Verpoest, I., & Phelan F. R. (2001). *Textile composites: modelling strategies. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 32(10), 1379–1394. [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(01\)00038-0](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(01)00038-0)

Sette, S., Boullart, L., & Van Langenhove, L. (2000). Building a rule set for the fiber-to-yarn production process by means of soft computing techniques. *Text Res.* <https://doi.org/10.1177/0040517500070005>

Song, Y., Zhang, B., Wen, C., Wang, D., & Wei, G. (2025). Model predictive control for complicated dynamic systems: a survey. *International Journal of Systems Science*, 1–26. <https://doi.org/10.1080/00207721.2024.2439473>

Velten, K. (2009). *Mathematical modeling and simulation: introduction for scientists and engineers*. John Wiley & Sons. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/9783527627608.fmatter>

Грод, Ін. М., Мартинюк, С. В., & Мартинюк, О. М. (2016). *Математичне моделювання і системний аналіз*. Тернопіль: ТНПУ. 60 с. http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/25321/1/math_model.pdf

Grod, In. M., Martyniuk, S. V., & Martyniuk, O. M. (2016). *Mathematical modeling and system analysis. Ternopil: TNPU*. http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/25321/1/math_model.pdf

Павленко, П. М. (2013). <i>Основи математичного моделювання систем і процесів</i> . Київ: Книжкове вид-во НАУ, 274 с. https://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4137	Pavlenko, P. M. (2013). <i>Fundamentals of mathematical modeling of systems and processes: a textbook</i> . Kyiv: Publishing house of NAU. https://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4137i
Слізков А. М., Щербань В. Ю., Демківський, О. Б. & Демківська, Т.І. (2009). Теоретичні основи побудови математичної моделі властивостей текстильних матеріалів. Повідомлення 1. <i>Вісник КНУТД</i> , (1), 36–41. https://stud.knutd.edu.ua/handle/123456789/6995	Slizkov, A. M., Shcherban, V. Yu., Demkivskyi, O. B., & Demkivska, T.I. (2009). Theoretical foundations of building a mathematical model of the properties of textile materials. Message 1. <i>Bulletin of KNU TD</i> , (1), 36–41. https://stud.knutd.edu.ua/handle/123456789/6995
Слізков, А. М. (2006). Застосування системного підходу до прогнозування властивостей текстильних ниток та виробів. Повідомлення 1. <i>Вісник КНУТД</i> , (3), 42–48.	Slizkov, A. M. (2006). Application of a systematic approach to predicting the properties of textile threads and products. Message 1. <i>Bulletin of KNU TD</i> , (3), 42–48.
Слізков, А. М. (2006). Математичне моделювання систем прогнозування властивостями і якістю текстильних ниток та виробів з них. Повідомлення 2. <i>Вісник КНУТД</i> , (4), 17–24.	Slizkov, A. M. (2006). Mathematical modeling of systems for predicting the properties and quality of textile threads and products made from them. Message 2. <i>Bulletin of KNU TD</i> , (4), 17–24.
Слізков, А. М., Щербань, В. Ю., Попов, В. П., & Демківський, О.Б. (2009). Моделювання властивостей текстильних матеріалів з використанням інформаційних технологій. Повідомлення 2, <i>Вісник КНУТД</i> , (2), 28–35. https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/6964	Slizkov, A. M., Shcherban, V. Yu., Popov, V. P., & Demkivskyi, O.B. (2009). Modeling the properties of textile materials using information technologies. Message 2. <i>Bulletin of KNU TD</i> , (2), 28–35. https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/6964
Слізков, О. М., Щербань В. Ю., та ін. (2013). <i>Прогнозування фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів побутового призначення</i> : монографія. Київ: КНУТД, 223 с. https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/12309/2/Prohnozuvannia_Mono.pdf	Slizkov, A. M., Shcherban, V. Yu., et al. (2013). <i>Prediction of physical and mechanical properties of household textile materials</i> . Kyiv: KNU TD, 223 p. https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/12309/2/Prohnozuvannia_Mono.pdf
Чуйко, Г. П., Дворник, О. В., & Яремчук, О. М. (2015). <i>Математичне моделювання систем і процесів</i> . Миколаїв: Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 244 с. https://lib.chmnu.edu.ua/pdf/posibnuku/355/1.pdf	Chuyko, G. P., Dvornyk, O. V., & Yaremchuk, O. M. (2015). <i>Mathematical modeling of systems and processes: a textbook</i> . Mykolaiv: Publishing house of Petro Mohyla. https://lib.chmnu.edu.ua/pdf/posibnuku/355/1.pdf
Щербань, В. Ю., Волков, О. І., & Щербань, Ю. Ю. (2003). <i>Математичні моделі в САПР обладнання та технологічних процесів легкої та текстильної промисловості</i> . Київ: КНУТД, 588 с.	Shcherban, V. Yu., Volkov, O. I., & Shcherban, Yu. Yu. (2003). <i>Mathematical models in CAD equipment and technological processes of light and textile industry</i> . Kyiv: KNU TD.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють, що не мають фінансових чи нефінансових конфліктів інтересів щодо цієї публікації; не мають відносин із державними органами, комерційними або некомерційними організаціями, які могли б бути зацікавлені у поданні цієї точки зору. З огляду на те, що два автори працюють в установі, яка є видавцем журналу, що може зумовити потенційний конфлікт або підозру в упередженості, остаточне рішення про публікацію цієї статті (включно з вибором рецензентів та редакторів) ухвалювалося тими членами редколегії, які не пов'язані з цією установою.

Автори не отримували прямого фінансування для цього дослідження.

Слізков, А., Красницький, С., & Михайлова, Г. (2025). Системне прогнозування якості продукції прядильного виробництва. *Міжнародний науково-практичний журнал "Товари і ринки"*, 2(54), 106–119. [https://doi.org/10.31617/2.2025\(54\)07](https://doi.org/10.31617/2.2025(54)07)

Надійшла до редакції 06.03.2025.

Прийнято до друку 28.04.2025.

Публікація онлайн 11.06.2025.