

## МОДЕЛЮВАННЯ ВОЛОКНИСТОГО СКЛАДУ МІШАНОЇ ПРЯЖІ

**Постановка проблеми.** Аналіз тенденцій розвитку асортиментів тканин і трикотажних виробів з урахуванням появи хімічних волокон нового покоління показує, що найбільш актуальними на період до 2015 р. є наступні види пряжі бавовняного типу: антибактеріальні пряжі із суміші льону, бавовни та бактерицидного поліефіру або акрилу; льонохімічні пряжі; пряжі яскравих чистих кольорів або оптично вибілені, у тому числі з використанням поліефірних волокон підвищеної фарбувальної здатності; фарбована пряжа з ефектом «шине», одержувана за рахунок того, що різні волокна в пряжі по різному вбирають барвник при фарбуванні в одній ванні; високоусадні пряжі для додання тканини й трикотажу ефекту стиснення; пряжа «стретч» із суміші бавовни з поліефірними або поліамідними мікроволоконками; пряжа із суміші бавовни з натуральним шовком з вовною, з кашмірським пухом, та ін. Відзначається спад споживання по всіх видах волокон, крім льону та філаментних хімічних ниток.

З метою розвитку асортименту пряжі бавовняного типу розроблено різні технології виробництва нових видів пряжі з використанням модифікованого льоноволокна і хімічних волокон нового покоління на стандартному прядильному обладнанні [1]. Основне завдання таких технологій – виготовлення тканин із заздалегідь заданими властивостями, що здійснюється за рахунок мішаної пряжі. У зв'язку з цим актуальним є задача вибору оптимального складу волокнистої сировини.

Ефективність процесу отримання мішаної пряжі здебільшого визначається властивостями і складом перероблюваної сировини. При змішуванні різних за природою та властивостями компонентів треба намагатися одержати суміш з рівномірно розподіленими волокнами, як у суміші, так і всередині кожного компонента. За класичною технологією переробки волокна змішують на різних етапах прядильного виробництва такими способами: шарами, стрічками або в камері змішувальних машин.

**Аналіз публікацій по темі дослідження.** Основи складання сумішей волокон вперше теоретично обґрунтував А.Г. Севостьянов. Його вчення про змішування різних волокон розширили й доповнили А. Соловйов, К. Корицький, В. Усенко та інші вчені [2, 3]. Але сьогодні з розвитком ІТ – технологій з'являються нові можливості використання комп'ютерних засобів для розрахунку кількісного складу компонентів суміші.

**Мета роботи.** Мета даної роботи полягає у розробці алгоритму оптимізації волокнистого складу суміші, що водночас є технологічним та економічним завданням.

**Основна частина.** Суміш волокон повинна мати відносно низьку собівартість і гарантувати достатній рівень якості. Якість одержаної пряжі залежить від сировини, що входить до складу суміші, а також умов перебігу технологічного процесу, на які впливають характеристики устаткування з відповідними режимами роботи, системи й плани змішування у прядінні, температурно-вологісний режим та кваліфікація обслуговуючого персоналу [2]. Шляхом вибору оптимального поєднання сировинних компонентів мішаної пряжі можна суттєво підвищити якість кінцевого продукту з одночасним зменшенням собівартості продукції.

У сучасному виробництві для проектування сировинних сумішей широко застосовуються універсальні інформаційні засоби, що не мають обмежень за кількістю і видом сировинних компонентів і способів розрахунку та оптимізації. Також вони повинні передбачати налаштування на склад застосованої сировини і готової продукції, використовувати при розрахунку і оптимізації широке коло характеристик з можливістю додавання нових та проводити оптимізацію відповідно заданим вимогам. На сьогодні відомі програмні продукти [4], але вони задовольняють не всім вищеперерахованим вимогам.

В даній роботі використано формалізацію розрахунку багатокомпонентних волокнистих сумішей та метод оптимізації в симплексних координатах. Розрахунок складу багатокомпонентних сировинних сумішей є обумовленою задачею, що має однозначне рішення і полягає у визначенні вмісту компонентів  $\{X\}=\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ ,  $0 \leq x_i \leq 1$ , в N-компонентній суміші (системі). Вимоги до складу визначаються у вигляді характеристик  $M$  (вмісту домішок та їхніх фізико-механічних властивостей) що є функціями від хімічної природи складових сумішей  $S_j$  ( $j=1 \dots N_S$ ).

Характеристики  $M$  можна представити в узагальненому вигляді:

$$M = \left( k'_0 + \sum_{j=1}^{N_S} k'_j S_j \right) \left( k''_0 + \sum_{j=1}^{N_S} k''_j S_j \right)^{-1}, \quad (1)$$

Звідки випливає лінеаризована характеристика  $T_i(S)$ :

$$T_i(S) = (k_0 - M^{\text{fix}}k_0'') + \sum_{j=1}^{N_S} (k_j' - M^{\text{fix}}k_{j0}'') \frac{S_{ij}}{1 - L_i} \quad (2)$$

Тут  $k$  – коефіцієнти,  $L_i$ , частка втрат волокон під час підготовки до прядіння.  $M^{\text{fix}}$  фіксоване значення характеристики  $M$ .  $S_{ij}$  – вміст  $j$ -го елемента хімічного складу в  $i$ -му компоненті.

Для розрахунку  $N$ - компонентних сировинних волокнистих сумішей застосуємо формалізоване рівняння [4]:

$$\sum_{i=1}^{N-1} T(\bar{S}_{ij})x_i = \left( M^{\text{fix}} - \sum_{k=1}^R T(\bar{S}_{\text{пр}k})q_{\text{пр}k} \right) \left( 1 - \sum_{k=1}^R q_{\text{пр}k} \right)^{-1} - T(\bar{S}_{Nj}), \quad (3)$$

$i = 1 \dots N - 1,$

де  $\bar{S}_{ij} = \{ [L_i S_{ij} - L_N S_{Nj} | i = 1 \dots N - 1] \wedge [L_N S_{Nj} | i = 1] \}$ ,  $x_N = 1 - \sum_{i=1}^{N-1} x_i$ ,

$R, q_{\text{дом}}$  – кількість і масова частка домішок у мішаній пряжі.

Рівняння (3) описує задачі розрахунку волокнистих сумішей з великою кількістю компонентів. Оптимізація багатокомпонентних волокнистих сумішей відноситься до задачі нелінійного програмування, де на незалежні змінні  $\{X\}$ , оптимальні значення яких шукаються для мінімізації (максимізації) критерію оптимальності  $K_{\text{опт}} = f_{\text{опт}}(\{X\})$ , накладено нелінійні обмеження-рівності та обмеження-нерівності, задані для характеристик  $M$ .

Задачу оптимізації багатокомпонентної суміші представляємо у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{\text{опт}} = f_{\text{опт}}(\{X\}) \rightarrow \min(\max); M_a^{\min} \leq M_a(\{X\}) \leq M_a^{\max}, a = 1 \dots N_n; \\ \left( \sum_{i=1}^{N_p} T_{im}(S)x_i = 0 \right) \equiv \left( \sum_{i=1}^{N_p} a_{im}x_i = b_m \right), \quad m = 1 \dots N_p; \\ \sum_{i=1}^{N-R} x_i = \left( 1 - \sum_{j=1}^R q_{\text{пр}j} \right); 0 \leq x_i \leq 1; x_i = q_{\text{пр}j}, j = 1 \dots R, i = j + N - R; \\ k_{dr}x_{cr} - k_{cr}x_{dr} = 0, c \neq d, 1 \leq \forall(c, d) \leq N, \forall(x_{cr}, x_{dr}) \in \{X\}, r = 1 \dots N_{cv}, \\ N_p + N_c + R + 1 = N, \end{array} \right. \quad (4)$$

де  $N_p, N_n$  – число обмежень-рівностей та обмежень нерівностей,  $M^{\min}, M^{\max}$  – границі обмежень-нерівностей,  $N_c$  кількість заданих співвідношень між витратами компонентів,  $k$  – коефіцієнти.

Розв'язання задачі (4) потребує врахування специфічного характеру цільової функції  $f_{\text{опт}}(\{X\})$  та обмежень, що полягають у тому, що за параметрами керування  $\{X\}$  і складу сировинних компонентів  $\{S_i\}$  визначається склад сировинної суміші  $\{S_{\text{сум}}\}$  і продукту  $\{S_{\text{пр}}\}$ , за якими визначаються характеристики  $M$ , що входять у  $K_{\text{опт}}$  і обмеження (рис.1):

$$M = f(\{S_{\text{сум}}\} \vee \{S_{\text{кл}}\}); \{S\} = f(\{S_i\}, \{X\}). \quad (5)$$

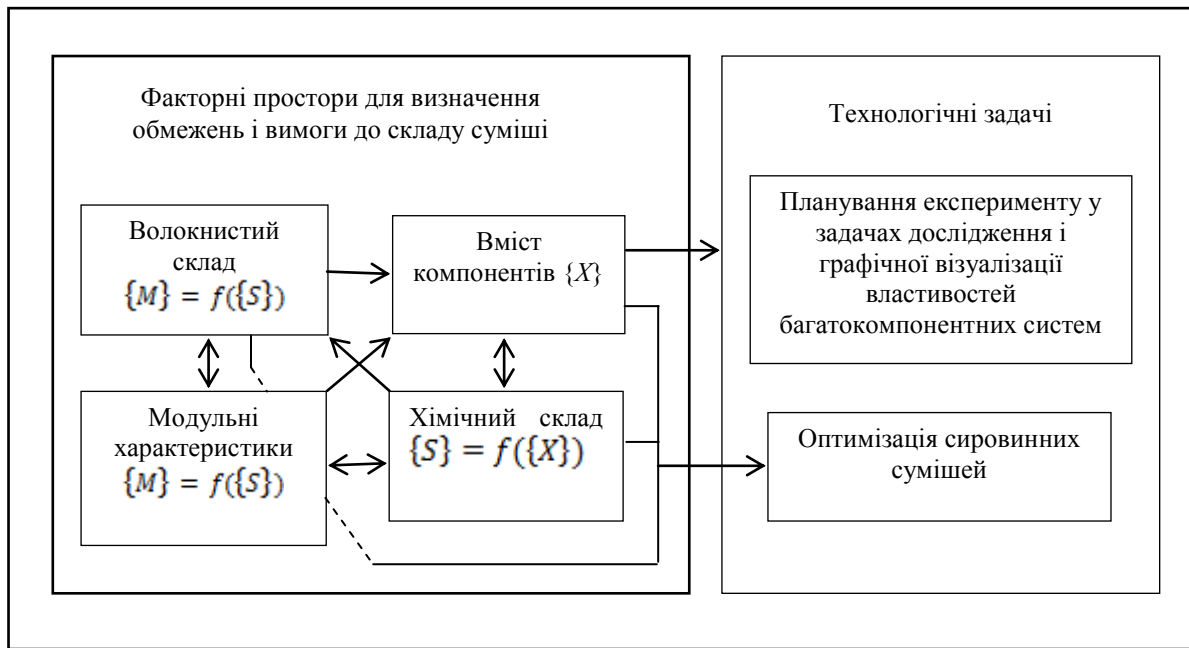


Рис. 1. Методи представлення складу багатокомпонентних сумішей, взаємозв'язок між ними і технологічними задачами

Для розв'язання задачі (4) використовуємо числовий метод, заснований на методі покоординатного спуску із врахуванням взаємного впливу симплексних змінних. У множині  $\{X\}$  визначається базове рішення  $\{X_0\}$ , що задовольняє обмеженням, та виокремлюється змінна  $x_s$ . Множина, що залишилась розбивається на залежні  $\{X_3\}$  та незалежні  $\{X_{нз}\}$  змінні,  $\{X\} = \{X_3\} \cup \{X_{нз}\} \cup \{x_s\}$ , причому у множині  $\{X_{нз}\}$  число елементів  $N_{нз} = N_p$ . Зміна  $x_s$  у симплексній системі координат впливає на інші змінні:

$$\sum_{i=1}^n a_{ik} x_i = b_k, k = 1 \dots N_{нз}; x_m = x_m^0 - \frac{x_s - x_s^0}{N_3}, x_m \in \{X_3\}. \quad (6)$$

При визначенні  $x_s$  з урахуванням (6) система перетворюється у замкнену, з якої визначаються невідомі  $\{X_3\}$ . Покрокове наближення полягає по черговому завданні у якості  $x_s$  усіх змінних множини  $\{X\}$ .

Таким чином, запропонований метод формалізації розрахунку багатокомпонентної мішаної пряжі і числовий метод оптимізації у симплексній системі координат з урахуванням обмежень можна вважати основою математичного розрахунку і оптимізації багатокомпонентної суміші волокон. На рис.2 наведено алгоритм розрахунку і оптимізації параметрів мішаної пряжі.

Пошук оптимуму згідно заданим критеріям і обмеженням складається з двох етапів. Спочатку відбувається пошук початкового наближення – пряжі, яку можна отримати з наявних сировинних компонентів якісні характеристики якої наближені до нормативних. Для цього на основі симплекс-методів знаходять вершини області існування волокнистої суміші. Особливість алгоритму полягає в тому, що в обумовлених задачах, які мають єдине рішення воно знаходиться на першому етапі.

Це пов'язано з тим, що при  $N_p = N - 1$  система (4) перетворюється у систему рівнянь виду (3), що дозволяє не розділяти задачі розрахунку та оптимізації складу мішаної пряжі, а розв'язувати їх на основі одного класу.

На другому етапі здійснюється рух від знайденого початкового наближення до точки, що найкращим чином задовольняє поставленим умовам (методом по факторного спуску на симплексі). При цьому обирається напрям і здійснюється покроковий рух, через певну кількість кроків напрямок уточнюються. Коли процес сягає околу шуканої точки і крок у будь-якому напрямі призводить до віддалення від неї, величина кроку зменшується. Рух продовжується доти, доки крок не стане надто малим.

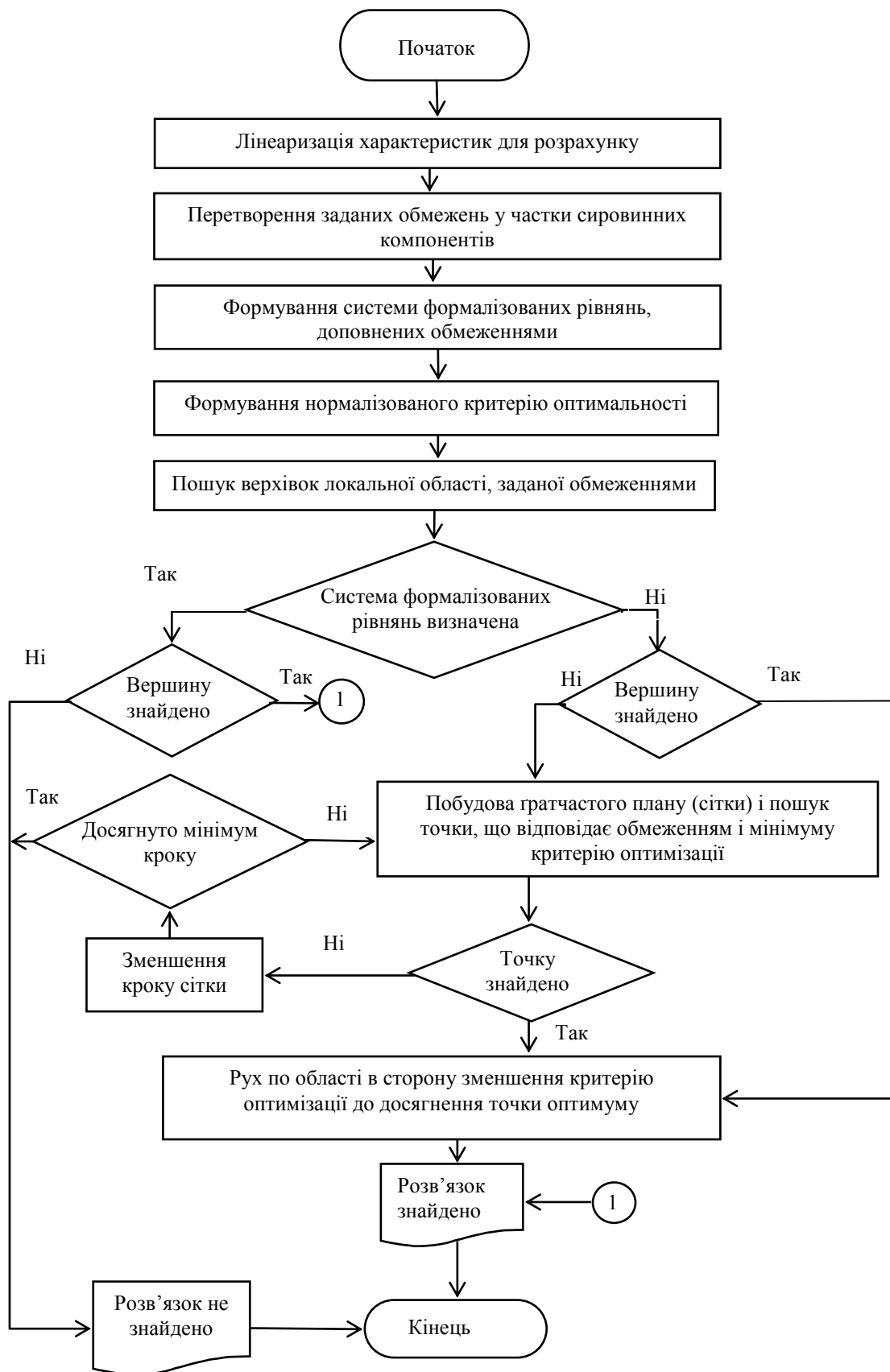


Рис. 2. Алгоритм розрахунку і оптимізації складу мішаної пряжі.

Запропонований алгоритм апробовано для прогнозування оптимального складу наступних видів мішаної пряжі:

- бавовняного типу, що складається з модифікованих лляних волокон 20%, бавовняного волокна 40% та поліпропілену 40%, з лінійною щільністю 25 текс;
- вовняного типу, що складається з модифікованих лляних волокон 32%, вовняного компоненту 30%, поліпропілену 38%, з лінійною щільністю 32x2 текс;
- вовняного типу, що складається з модифікованих лляних волокон 30%, вовняного компоненту 30%, поліефіру 40%, з лінійною щільністю 32x2 текс.

У якості критеріїв оптимізації було обрано питиме розривне навантаження сН/текс, розривне подовження %, обривність мішаної пряжі, на 1000 вер/год та собівартість пряжі.

**Висновки і перспективи подальшого використання.** В роботі запропоновано методологічну базу для розрахунку та оптимізації волокнистого складу багатокомпонентної мішаної пряжі з використанням сучасних ІТ – технологій. Запропонований підхід є універсальним і може бути використаний для широкого кола дослідницьких та виробничих задач.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Кузьміна Т.О. Якість і стандартизація модифікованих лляних волокон. Монографія. / Т.О. Кузьміна, Л.А. Чурсіна, Г.А. Тіхосова.– Херсон: Олді-плюс, 2009. – 416 с.
2. Севостьянов А.Г. Составление смесок и смешивание в хлопкопрядильном производстве: Монография. – М.: Гизлегпром, 1954. – 185 с.
3. Матрохин А.Ю., Буторина Н.В., Гусев Б.Н. Разработка методики проектирования качества смеси различных видов волокон // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2003. – № 1 (270). – С. 27–31.
4. Беседин П.В., Трубаев П.А. Исследование и оптимизация процессов в технологии цементного кликера. – Белгород: БелГТАСМ, БИЭИ, «);. – 420 с.

ЄДИНОВИЧ Михайло Борисович – доцент кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- автоматизація технологічних процесів текстильного виробництва.