

3. Шелудченко Б.А. Агромеханіка ґрунтів. – Житомир : Вид-во "Полісся", 1992. – 249 с.
4. Іванюта М.В. Комбіновані ґрунтообробні агрегати та їх вплив на обробіток ґрунту // Науковий вісник НАУ : зб. наук. праць. – К. : Вид-во НАУ. – 2006. – Вип. 95, ч.2. – С. 374-379.
5. Іванюта М.В. Мироненко В.Г. Мороз А.І. Перспективи розвитку сучасних комбінованих агрегатів // Науковий вісник НАУ : зб. наук. праць. – К. : Вид-во НАУ. – 2005. – Вип. 80, ч.1. – С. 76-79.
6. Кулен А., Куиперис Х. Современная земледельческая механика : пер. с англ. А.Э. Габриэляна / под ред. и с предисл. Ю.А. Смирнова. – М. : Изд-во "Агропромиздат", 1986. – 349 с.
7. Кушнарєв А.С., Кочев В.И. Механико-технологические основы обработки почвы. – К. : Вид-во "Урожай", 1989. – 144 с.
8. Сосновська О.О. Ярошенко П.П. Іванюта М.В. Техніко-економічне обґрунтування господарських рішень : навч. посібн. [для студ. ВНЗО 3-4 рівня акред.]. – К. : Вид-во НАУ. – 2005. – 256 с.

УДК [004.451]:621.7.01

Доц. Ю.І. Грициук, д-р техн. наук –
НЛТУ України, м. Львів

СИСТЕМНА ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ ЛІНІЇ РОЗКРОЮ

Адаптовано методику розв'язання багатокритеріальної задачі структурної та параметричної оптимізації функціональних елементів складної ієрархічної системи до задачі проектування лінії розкрою плитних деревних матеріалів (ПДМ) на заготовки. Вона ґрунтується на виборі раціональної ієрархічної структури її конструкції, на раціональному розподілі вимог до функціональних елементів кожного її ієрархічного рівня, а також уможливорює отримання раціонального компромісу суперечливих вимог до технологічності, надійності, техніко-економічної ефективності роботи лінії розкрою з урахуванням факторів ризику появи позаштатних умов її експлуатації. Реалізація формалізованого опису у вигляді відповідних математичних моделей дає змогу визначити структуру і взаємозв'язок процедур системного моделювання позаштатних ситуацій і параметричної оптимізації технічних характеристик функціональних елементів лінії розкрою.

Ключові слова: структурно-функціональний аналіз, складна ієрархічна структура, функціональний елемент, плитний деревний матеріал, технологічний процес розкрою, лінія розкрою.

Assoc. prof. Yu.I. Gryciuk – NUFWT of Ukraine, L'viv

System optimization of structure and parameters of line will cut out

Adaptation of method of decision of multicriterion tasks of structural and self-reactance optimization of functional element of the difficult hierarchical system is carried out to planning of line will cut out wooden materials (PWM) on purveyances. He is based on the choice of rational hierarchical structure of its construction, which enables rationally to distribute requirement to functional element of every hierarchical level, and also does possible the receipt of rational compromise of contradictory requirements to technologicalness, reliability, technical and economic efficiency of work of line will cut out taking into account the factors of risk of supernumerary its external environments. Realization of method enables to define a structure and intercommunication of procedures of system design of supernumerary situations self-reactance optimization of technical descriptions of FES of line will cut out.

Keywords: structurally functional analysis, difficult hierarchical structure, functional elements, platen arboreal materials, technological process will cut out, line will cut out.

Постановка завдання

Розглянуті у роботі [7] властивості та особливості задачі структурно-функціонального аналізу (СФА) технологічного процесу (ТП) розкрою плитних деревних матеріалів (ПДМ), а у роботі [8] – розроблена стратегія її розв'язання загалом дають змогу перейти до системної оптимізації структури та параметрів лінії розкрою. Її сутність полягає в такому.

Загальна тенденція підвищення вимог до функціональності, надійності, економічності та інших показників якості сучасних автоматичних ліній розкрою пов'язана з умовами їх експлуатації, що, як наслідок, призводить до ускладнення їх конструкцій. Ця обставина сприяє появі нових системних задач проектування, експериментального дослідження, стендового випробування та технічного діагностування функціональних елементів будь-якого технічного об'єкта [12, 26], в тому числі і лінії розкрою. До них належать різні оптимізаційні задачі [25], у яких здійснюється пошук раціонального компромісу між суперечливими вимогами щодо технологічності, надійності, техніко-економічної ефективності конструкції ліній розкрою з урахуванням штатних умов експлуатації та факторів ризику можливих позаштатних ситуацій [19]. Один із підходів до розв'язання такої задачі для штатних режимів роботи технічного об'єкта, який дає змогу знайти раціональний компроміс зазначених вище суперечливих вимог, а також системно оптимізувати внутрішні параметри проекрованої лінії розкрою, запропоновано у [28].

Таким чином, метою цієї роботи є адаптація відомої методики [13, ст. 329] до розв'язання багатокритеріальних задач *структурної та параметричної оптимізації* функціональних елементів проекрованої лінії розкрою. Ця методика ґрунтується на виборі раціональної ієрархічної структури її конструкції, на раціональному розподілі вимог до функціональних елементів кожного ієрархічного рівня, а також уможливорює отримання раціонального компромісу суперечливих вимог до технологічності, надійності, техніко-економічної ефективності роботи лінії розкрою з урахуванням факторів ризику появи позаштатних умов її експлуатації.

1. Структурна оптимізація функціональних елементів лінії розкрою

Під час проектування сучасних автоматичних ліній розкрою найвідповідальнішою і найскладнішою проблемою є системна задача їх формалізованого представлення як багаторівневої ієрархічної системи. Ступінь деталізації цього представлення дає змогу різним проектним підрозділам раціонально організовувати послідовно-паралельне розроблення функціональних елементів проекрованої системи на кожному її ієрархічному рівні. Загалом ця задача вимагає вирішення таких основних підпроблем [22]:

- *формування ієрархічної структури проекрованої лінії розкрою* – це суб'єктивне (неформалізоване) розуміння проектантом певних видів зв'язків між її функціональними елементами, які подають у вигляді деякої багаторівневої ієрархічної системи;
- *формування функціональних елементів на кожному ієрархічному рівні, розроблення та обґрунтування відповідних критеріїв їх якості* – це суб'єктив-

ний (неформалізований) вибір проектантом рішень, керуючись при цьому власним досвідом, інтуїцією та набутими знаннями у попередніх проектах. Оскільки на будь-якому ієрархічному рівні кожен функціональний елемент може мати деяку кількість можливих альтернатив його реалізації, то прямий перебір усіх допустимих варіантів проекрованої лінії розкрою призводить до задачі транс-обчислювальної складності, точне розв'язання якої за реальний проміжок часу є неможливим;

- *аналіз та синтез вхідної інформації, яка має значний рівень невизначеності та неповноти* – тобто, відомі тільки загальні вимоги до властивостей і зовнішніх показників якості проекрованої лінії розкрою, а вимоги до функціональних елементів, які стосуються певного ієрархічного рівня, формуються у процесі її проектування.

Для уникнення прямого перебору усіх допустимих варіантів функціональних елементів проекрованої лінії розкрою широко використовується та удосконалюється *метод послідовного аналізу* [1, 17, 18, 25]. Водночас системна задача формування раціональної ієрархічної структури, яка містить вибір раціональної кількості ієрархічних рівнів лінії розкрою, формування раціональних вимог до кожного ієрархічного рівня та їх функціональних елементів, раціональний вибір функціональних елементів на кожному ієрархічному рівні, – на сьогодні забезпечена тільки загальними вказівками до методики їх розв'язання [13, ст. 330].

Тому адаптація та вдосконалення відомих прийомів і методів, які дають змогу істотно зменшити обсяг обчислень і вибрати раціональну ієрархічну структуру проекрованої лінії розкрою, виключаючи прямий перебір усіх допустимих альтернативних варіантів її функціональних елементів, – є важливою науково-практичною задачею.

Задачу *структурної оптимізації функціональних елементів проекрованої лінії розкрою* розв'яжемо, використовуючи *метод цілеспрямованого вибору раціональної ієрархічної структури* [13, ст. 332; 22; 23] за заданою множиною зовнішніх показників її якості:

$$\tilde{\Theta}_{\Sigma}^{\alpha} = \left\{ \theta_i^{\alpha} : \theta_i^{-} \leq \theta_i^{\alpha} \leq \theta_i^{+}, i = \overline{1, R_{\Sigma}^{\alpha}} \right\}, \quad (1)$$

де: θ_i^{α} – значення i -го зовнішнього показника якості лінії розкрою; R_{Σ}^{α} – кількість показників якості лінії розкрою.

Загальну задачу структурної оптимізації функціональних елементів проекрованої лінії розкрою подамо у вигляді послідовного розв'язання таких загальних задач:

- вибір раціональної кількості ієрархічних рівнів лінії розкрою;
- формування раціональних вимог до функціональних елементів лінії розкрою;
- цілеспрямований вибір раціональної ієрархічної структури лінії розкрою.

Розглянемо формалізоване представлення та загальний алгоритм розв'язання кожної з цих задач зокрема.

1.1. Вибір раціональної кількості ієрархічних рівнів лінії розкрою

З використанням теоретико-множинних понять загальної теорії систем [16] наведемо формалізований опис ієрархічної структури проекрованої лінії розкрою. Враховуючи, що кількість ієрархічних рівнів Q_{Σ}^p лінії розкрою

є скінченою, зобразимо формалізовану модель її допустимої ієрархічної структури у вигляді декартового добутку:

$$\tilde{S}_\Sigma^p = \prod_{q=1}^{Q_\Sigma^p} \tilde{S}_q^p = \prod_{q=1}^{Q_\Sigma^p} \tilde{S}_q^p \left[\tilde{\Phi}_q^e, \bar{F}_q, \bar{\Psi}_q, \tilde{X}_q^x, \tilde{Y}_q^y \right], \quad (2)$$

де: $\tilde{S}_q^p$ – допустима структура лінії розкрою на q -му ієрархічному рівні, складовими якої є множина функціональних елементів з їх альтернативними варіантами:

$$\tilde{\Phi}_q^e = \left\{ \Phi_{qj}^e, j = \overline{1, J_q^e} : \Phi_{qj}^e \in \tilde{W}_{qj}^a = \left\{ w_{qjk}^a, k = \overline{1, J_{qj}^a} \right\} \right\}, \quad q \in Q_\Sigma^p, \quad (3)$$

Відповідні функціонали залежностей та зв'язків мають такий вигляд:

$$\bar{F}_q : \tilde{X}_q^x \rightarrow \tilde{Y}_q^y; \quad \bar{\Psi}_q : \tilde{Y}_q^y \rightarrow \tilde{Y}_{q-1}^y, \quad q \in Q_\Sigma^p, \quad (4)$$

а також відповідні вектори внутрішніх параметрів і зовнішніх показників якості функціональних елементів – такий вигляд:

$$\tilde{X}_q^x = \left\{ \tilde{X}_{qj}^x = \left\{ x_{qjk}^x, k = \overline{1, J_{qj}^x} \right\}, j = \overline{1, J_q^e} \right\}; \quad \tilde{Y}_q^y = \left\{ \tilde{Y}_{qj}^y = \left\{ y_{qjk}^y, k = \overline{1, J_{qj}^y} \right\}, j = \overline{1, J_q^e} \right\}. \quad (5)$$

У виразах (2)-(5) введено такі позначення: $\tilde{\Phi}_q^e$ – множина функціональних елементів, з яких складається q -ий ієрархічний рівень; $\tilde{\Phi}_{qj}^e$ – назва j -го функціонального елемента на q -му ієрархічному рівні; $\bar{F}_q$ – функціонал (див. (5), розд. 4 [8]), який визначає залежність множини зовнішніх показників якості $\tilde{Y}_q^y$ функціональних елементів від їх множини внутрішніх параметрів $\tilde{X}_q^x$ на q -му ієрархічному рівні лінії розкрою; $\bar{\Psi}_q$ – функціонал (див. (6), розд. 4 [8]), який встановлює взаємозв'язок зовнішніх показників якості $\tilde{Y}_q^y$ функціональних елементів, розглянутих на q -му і $(q-1)$ -му ієрархічних рівнях лінії розкрою; J_q^e – кількість функціональних елементів, які належать q -му ієрархічному рівню; J_{qj}^a – кількість альтернативних варіантів для j -го функціонального елемента, які належать q -му ієрархічному рівню.

На базі цих співвідношень сформулюємо задачу вибору раціональної кількості Q_Σ^p ієрархічних рівнів лінії розкрою.

Визначено: узагальнену цільову функцію проектування лінії розкрою

$$G_\Sigma^y = g[Q_\Sigma^p, \tilde{\omega}, \tilde{u}] \rightarrow \text{extr} \quad (6)$$

на базі функції перетворення зовнішніх показників якості (загальних вимог) до функціональних елементів у раціональну ієрархічну структуру лінії розкрою під час v -ої спроби відбору

$$P_v : \tilde{\Theta}_\Sigma^y \times \tilde{\Phi}_{\Sigma,v}^e \rightarrow \tilde{S}_{\Sigma,v}^p, \quad v \in [1, 2, \dots], \quad (7)$$

а також функції оцінки якості отриманого варіанту її раціональної ієрархічної структури під час v -ої спроби відбору

$$Y_v : \tilde{\Theta}_\Sigma^y \times \tilde{\Omega}_\Sigma^y \times \tilde{S}_{\Sigma,v}^p \rightarrow \tilde{C}_{\Sigma,v}^y, \quad v \in [1, 2, \dots] \quad (8)$$

і з врахуванням функції обмеження загальних витрат на її створення

$$\tau: \tilde{\Theta}_{\Sigma}^{\mathcal{A}} \times \tilde{\Omega}_{\Sigma} \rightarrow \tilde{C}_{\Sigma}^{\mathcal{U}}. \quad (9)$$

Потрібно: знайти таку раціональну кількість $\hat{Q}_{\Sigma}^p \in [\hat{Q}_{\Sigma}^{-}; \hat{Q}_{\Sigma}^{+}]$ ієрархічних рівнів проекрованої лінії розкрою, щоб для всіх ризиків $\tilde{\omega} \in \tilde{\Omega}_{\Sigma}$ у разі реалізації заданих вимог $\tilde{\Theta}_{\Sigma}^{\mathcal{A}}$ витрати не перевищували допустимих значень $g[\hat{Q}_{\Sigma}^p, \tilde{\omega}, \tilde{u}] \leq \tau[\tilde{\omega}]$.

У виразах (6)-(9) введено такі основні позначення:

- $\tilde{S}_{\Sigma, \nu}^p$ – раціональна ієрархічна структура проекрованої лінії розкрою (2), яку отримано після ν -ої спроби відбору;
- $\tilde{\Phi}_{\Sigma, \nu}^e = \{\tilde{\Phi}_{q, \nu}^e, q = \overline{1, \hat{Q}_{\Sigma, \nu}^p}\}$ – множина всіх функціональних елементів раціональної ієрархічної структури, яку отримано після ν -ої спроби відбору;
- $\tilde{u}_{\nu}$ – множина параметрів управління процесом вибору, значення елементів якого уточнюються після ν -ої спроби відбору;
- $\tilde{\Omega}_{\Sigma} = \{\tilde{\omega}_i, i = \overline{1, R_{\Sigma}^{\mathcal{A}}}\}$ – множина невизначених факторів (ризиків), які впливають на якість і загальні витрати під час проектування лінії розкрою;
- $\tilde{C}_{\Sigma}^{\mathcal{U}} = \{\tilde{C}_{\Sigma, \nu}^{\mathcal{U}} = \{c_{\nu, i}^{\mathcal{U}}, i = \overline{1, \chi_{\nu}}\}, \nu \in [1, 2, \dots]\}$ – допустимі витрати на життєвий цикл проектування лінії розкрою за вибраною раціональною ієрархічною структурою після ν -ої спроби відбору, де $c_{\nu, i}^{\mathcal{U}}$ – значення i -ої витрати після здійснення ν -ої спроби відбору.

1.2. Формування раціональних вимог до функціональних елементів лінії розкрою

Щоб сформулювати раціональні вимоги до функціональних елементів раціональної ієрархічної структури $\tilde{S}_{\Sigma, \nu}^p$ після ν -ої спроби відбору, необхідно встановити взаємозв'язок між зовнішніми показниками якості функціональних елементів, які знаходяться на різних ієрархічних рівнях проекрованої лінії розкрою. Із формули (4) можна записати

$$\tilde{Y}_{\Sigma}^y = \{\tilde{Y}_{q-1}^y = \overline{\bar{\Psi}_{q-1}[\tilde{Y}_q^y]}, q = \overline{1, \hat{Q}_{\Sigma}^p}\}, \quad (10)$$

Оскільки зовнішні показники якості для q -го ієрархічного рівня мають такий вигляд $\tilde{Y}_q^y = \{\tilde{Y}_{qj}^y, j = \overline{1, J_q^e}\}, \forall q = \overline{1, \hat{Q}_{\Sigma}^p}$, то, з врахуванням формул (1) і (2), матимемо таку рівність $\tilde{Y}_{\Sigma}^y = \tilde{\Theta}_{\Sigma}^{\mathcal{A}}$. Тоді, для визначення вимог до $q = 1$ ієрархічного рівня, з врахуванням формул (1), (3) і (10), отримуємо такі системи рівнянь:

$$\theta_{1,i}^{-} = \bar{\Psi}_{0,i}[\tilde{Y}_{1,j}^{-}]; \theta_{1,i}^{+} = \bar{\Psi}_{0,i}[\tilde{Y}_{1,j}^{+}], i = \overline{1, R_{\Sigma}^{\mathcal{A}}}; j = \overline{1, J_1^e}.$$

Розв'язки цих систем $\tilde{Y}_1^{-} = \{\tilde{Y}_{1,j}^{-}, j = \overline{1, J_1^e}\}$ і $\tilde{Y}_1^{+} = \{\tilde{Y}_{1,j}^{+}, j = \overline{1, J_1^e}\}$ – це входні дані для визначення зовнішніх показників якості $\tilde{Y}_2^{-}$ і $\tilde{Y}_2^{+}$ проекрованої лі-

нії розкрою на 2-му ієрархічному рівні. Тоді, у загальному випадку, для q -го ієрархічного рівня запишемо такі системи рівнянь:

$$\theta_{q,i}^- = \bar{\Psi}_{q-1,i}[\tilde{Y}_{qj}^-]; \theta_{q,i}^+ = \bar{\Psi}_{q-1,i}[\tilde{Y}_{qj}^+], i = \overline{1, R_\Sigma^q}; j = \overline{1, J_q^e}; q \in \overline{1, Q_\Sigma^p}. \quad (11)$$

Розв'язавши ці системи рівнянь послідовно, отримаємо такі зовнішні показники якості для q -го ієрархічного рівня проекрованої лінії розкрою:

$$\tilde{\tilde{Y}}_q^- = \{\tilde{\tilde{Y}}_{qj}^-, j = \overline{1, J_q^e}\}; \tilde{\tilde{Y}}_q^+ = \{\tilde{\tilde{Y}}_{qj}^+, j = \overline{1, J_q^e}\}, q \in \overline{1, Q_\Sigma^p}, \quad (12)$$

Отже, процедура визначення раціональних вимог до функціональних елементів раціональної ієрархічної структури $\tilde{S}_{\Sigma, \nu}^p$ після ν -ої спроби відбору зводиться до формування послідовності систем рівнянь (11), після розв'язання яких отримаємо загальні вимоги до зовнішніх показників якості q -го ієрархічного рівня лінії розкрою:

$$\tilde{\tilde{\Theta}}_\Sigma^q = \left\{ \tilde{\tilde{\Theta}}_q^q = \left\{ \theta_{qi}^q : \theta_{qi}^- \leq \theta_{qi}^q \leq \theta_{qi}^+, i = \overline{1, R_\Sigma^q} \right\}, q = \overline{1, Q_\Sigma^p} \right\}, \quad (13)$$

Після цього, на підставі значень $\tilde{\tilde{Y}}_q^-$ і $\tilde{\tilde{Y}}_q^+$, отриманих із формули (12), визначаємо вимоги θ_{qji}^q до зовнішніх показників якості j -го функціонального елемента Φ_{qj}^e на q -му ієрархічному рівні проекрованої лінії розкрою:

$$\tilde{\tilde{\Theta}}_q^q = \left\{ \tilde{\tilde{\Theta}}_{qj}^q = \left\{ \hat{\theta}_{qjk}^q : \hat{\theta}_{qjk}^- \leq \hat{\theta}_{qjk}^q \leq \hat{\theta}_{qjk}^+, k = \overline{1, J_{qj}^q} \right\}, j = \overline{1, J_q^e} \right\}, q = \overline{1, Q_\Sigma^p}, \quad (14)$$

які є входними даними для загальної задачі вибору раціональних функціональних елементів ієрархічної структури $\tilde{S}_\Sigma^p$, заданої формулою (2).

Сформулюємо постановку задачі вибору раціональної ієрархічної структури лінії розкрою, використовуючи методику, наведену у роботі [23].

Визначено: ієрархічну структуру $\tilde{S}_\Sigma^p$ проекрованої лінії розкрою, яка складається з $\hat{Q}_\Sigma^p$ ієрархічних рівнів $\tilde{S}_q^p, q = \overline{1, \hat{Q}_\Sigma^p}$. Кожний рівень $\tilde{S}_q^p$ складається з J_q^e -ої кількості функціональних елементів $\Phi_{qj}^e, j = \overline{1, J_q^e}$. Кожний функціональний елемент Φ_{qj}^e характеризують раціональні до нього вимоги $\hat{\theta}_{qjk}^q, k = \overline{1, J_{qj}^q}$, а також визначає множина його допустимих альтернативних варіантів $\tilde{W}_{qj}^a = \{w_{qjk}^a, k = \overline{1, J_{qj}^q}\}$.

Потрібно: з множини допустимих альтернатив $\tilde{W}_{qj}^a$ вибрати по одному j -му функціональному елементу на q -му ієрархічному рівні з дотриманням умови (14); побудувати множину Парето Π_s раціональних ієрархічних структур $\tilde{S}_{\Sigma, \nu}^p, \nu \in [1, 2, \dots]$ лінії розкрою, яка складатиметься зі скінченної кількості спроб відбору.

Для всіх $j = \overline{1, J_q^e}, q = \overline{1, \hat{Q}_\Sigma^p}$ вважатимемо відомими множини $\tilde{W}_{qj}^a$, які складаються з альтернативних варіантів до функціонального елемента Φ_{qj}^e .

Кожна множина $\tilde{W}_{qj}^a$ складається з відповідних підмножин $\tilde{W}_{qj}^-$ і $\tilde{W}_{qj}^+$, для яких виконуються такі вимоги:

$$\begin{aligned}\tilde{W}_{qj}^a &= \tilde{W}_{qj}^+ \cup \tilde{W}_{qj}^-; & \tilde{W}_{qj}^+ \cap \tilde{W}_{qj}^- &= \emptyset; \\ \tilde{W}_{qj}^+ &= \left\{ w_{qj\beta}^+ \Leftrightarrow \hat{\theta}_{qjk}^a : \hat{\theta}_{qjk}^a \in \tilde{\Theta}_{qj}^a, \beta = \overline{1, J_{qj}^+} \right\}; \\ \tilde{W}_{qj}^- &= \left\{ w_{qj\beta}^- \Leftrightarrow \hat{\theta}_{qjk}^a : \hat{\theta}_{qjk}^a \notin \tilde{\Theta}_{qj}^a, \beta = \overline{1, J_{qj}^-} \right\}.\end{aligned}\quad (15)$$

Елементи відповідних множин $\tilde{W}_{qj}^-$ і $\tilde{W}_{qj}^+$ розміщені у множині $\tilde{W}_{qj}^a$ неупорядковано, тобто випадково. Відомі числові значення $J_{qj}^- > 0$; $J_{qj}^+ > 0$, але невідомо, якій множині – $\tilde{W}_{qj}^-$ чи $\tilde{W}_{qj}^+$ – належить конкретний функціональний елемент Φ_{qj}^e множини $\tilde{W}_{qj}^a$.

2. Параметрична оптимізація технічних характеристик функціональних елементів лінії розкрою

Після вибору раціональної структури функціональних елементів автоматичної лінії розкрою здійснюється параметрична оптимізація їх технічних характеристик. Як зазначалося у розд. 2.1 [7], до технічних характеристик лінії розкрою належать:

- $\tilde{X}_1^{pn} = \{x_{1,j}^{pn}, j = \overline{1, J_1^{pn}}\}$ – розмірні параметри розкроюваного матеріалу і отриманої продукції, наприклад: максимальні розміри плити – 3500×1830 мм; мінімальні розміри заготовок – 250×200 мм тощо;
- $\tilde{X}_2^{mx} = \{x_{2,j}^{mx}, j = \overline{1, J_2^{mx}}\}$ – технологічні параметри процесу розкрою, поділяються на: *концептуальні схеми розкрою* – розкрій усієї плити, розкрій торцевої та основної частин плити; *базові конфігурації карт розкрою* – з суцільними поздовжніми і суцільними поперечними пропилами, з суцільними поздовжніми і зміщеними поперечними пропилами, з індивідуальним розкроєм смуг, з гільйотинним відрізанням смуг;
- $\tilde{X}_3^{kn} = \{x_{3,j}^{kn}, j = \overline{1, J_3^{kn}}\}$ – конструктивні параметри лінії розкрою, вказують на наявність базувальних, передавальних і приймальних столів та максимальні їх розміри за довжиною та шириною розкроюваного матеріалу;
- $\tilde{X}_4^{nn} = \{x_{4,j}^{nn}, j = \overline{1, J_4^{nn}}\}$ – переміщувальні параметри різальних інструментів і передавальних механізмів. Наприклад, процес завантаження однієї плити складається з: *постійних операцій* – опускання чи піднімання вакуумного завантажувача, захоплення чи відпускання плити; *змінних операцій* – переміщення плити до базувального стола, повернення вакуумного завантажувача у початкове положення тощо;
- $\tilde{X}_5^{en} = \{x_{5,j}^{en}, j = \overline{1, J_5^{en}}\}$ – енергетичні параметри приводів та силові параметри установок, а саме: *потужності приводів різальних інструментів відповідних пилових установок* – основної та підрізної пилок; *потужності приводів механізмів подачі* – закладок плит, закладок відрізнаних смуг, закладок відріза-

них заготовок; *потужності силових установок* – гідравлічних, пневматичних, витяжних.

Загалом технічні характеристики функціональних елементів лінії розкрою можна подати у вигляді такої множини технічних параметрів:

$$\tilde{X}_{\Sigma}^{mn} = \{ \tilde{X}_1^{pn}, \tilde{X}_2^{mx}, \tilde{X}_3^{kn}, \tilde{X}_4^{nn}, \tilde{X}_5^{en} \}, \quad (16)$$

або
$$\tilde{X}_{\Sigma}^{mn} = \left\{ \tilde{X}_i^{mn} = \left\{ x_{ij}^{mn}, j = \overline{1, J_i^{mn}} \right\}, i = \overline{1, J_{\Sigma}^{mn}} \right\}. \quad (17)$$

Хоча кожен функціональний елемент на відповідному ієрархічному рівні проектованої лінії розкрою має виконувати деяку множину функцій, проте усі вони у сукупності спрямовані на досягнення певних (бажано найкращих) показників ефективності роботи обладнання, які подамо у вигляді таких цільових функцій:

- $\tilde{Y}_1^{евм} = \{ y_{1,j}^{евм} \rightarrow \mathbf{max}, j = \overline{1, J_1^{евм}} \}$ – ефективність використання розкроюваного матеріалу, забезпечується шляхом дотримання вимог на: максимальне заповнення ширини всього чи частини розкроюваного матеріалу ширинами смуг; максимальне заповнення відповідних довжин розкроюваних смуг довжинами заготовок тощо;
- $\tilde{Y}_2^{мрц} = \{ y_{2,j}^{мрц} \rightarrow \mathbf{min}, j = \overline{1, J_2^{мрц}} \}$ – тривалість робочого циклу процесу розкрою, складається з тривалостей виконання таких основних операцій: завантаження закладки плит; відрізання смуг від всього чи частини розкроюваного матеріалу; відрізання заготовок від усіх разом смуг, їх груп чи окремих смуг; розвантаження закладок відповідних заготовок тощо;
- $\tilde{Y}_3^{нро} = \{ y_{3,j}^{нро} \rightarrow \mathbf{max}, j = \overline{1, J_3^{нро}} \}$ – продуктивність роботи лінії розкрою, забезпечується за рахунок досягнення вимог на: максимальну кількість одночасно розкроюваних плит; максимальну ефективність використання розкроюваного матеріалу; мінімальну тривалість робочого циклу процесу розкрою тощо;
- $\tilde{Y}_4^{мсп} = \{ y_{4,j}^{мсп} \rightarrow \mathbf{min}, j = \overline{1, J_4^{мсп}} \}$ – технологічна собівартість процесу розкрою, забезпечується за рахунок досягнення вимог на: максимальну ефективність використання розкроюваного матеріалу; максимальну продуктивність роботи лінії розкрою тощо.

Загалом зазначені вище показники ефективності роботи лінії розкрою можна подати у вигляді такої множини техніко-економічних показників:

$$\tilde{Y}_{\Sigma}^{мен} = \{ \tilde{Y}_1^{евм}, \tilde{Y}_2^{мрц}, \tilde{Y}_3^{нро}, \tilde{Y}_4^{мсп} \}. \quad (18)$$

або
$$\tilde{Y}_{\Sigma}^{мен} = \left\{ \tilde{Y}_i^{мен} = \left\{ y_{ij}^{мен}, j = \overline{1, J_i^{мен}} \right\}, i = \overline{1, J_{\Sigma}^{мен}} \right\}. \quad (19)$$

З огляду на ці обставини, *параметричну оптимізацію* технічних характеристик функціональних елементів лінії розкрою виконують для досягнення таких системних взаємозалежних цілей:

- забезпечення раціонального компромісу суперечливих вимог до технічних параметрів $\tilde{X}_{\Sigma}^{mn}$ функціональних елементів лінії розкрою та техніко-еконо-

мічних показників $\tilde{Y}_{\Sigma}^{men}$ ефективності її роботи у штатному режимі експлуатації;

- забезпечення потрібного рівня надійності роботи функціональних елементів лінії розкрою на базі мінімізації ступеня і рівня ризику потенційно можливих позаштатних ситуацій [14].

У загальному випадку *задача параметричної оптимізації технічних характеристик функціональних елементів лінії розкрою* має таке формалізоване формулювання.

Визначено: раціональну ієрархічну структуру $\tilde{S}_{\Sigma}^p$ проектованої лінії розкрою та сформовано множину функціональних елементів $\tilde{\Phi}_{\Sigma}^e$ на кожному її ієрархічному рівні (див. розд. 1 [7]).

Потрібно:

- знайти раціональний компроміс між суперечливими вимогами до технічних параметрів $\tilde{X}_{\Sigma}^{mn}$ функціональних елементів лінії розкрою та техніко-економічними показниками $\tilde{Y}_{\Sigma}^{men}$ ефективності її роботи;
- визначити оптимальні значення параметрів функціональних елементів лінії розкрою за умови раціонального компромісу вимог до їх технічних характеристик та техніко-економічних показників ефективності її роботи у штатних режимах експлуатації і за допустимих обмежень показників ризику появи позаштатних ситуацій:

$$\begin{aligned}\tilde{P}_{\Sigma}^{nc} &= \left\{ \rho_v^{nc} = \rho_v^H \cdot (1 \pm \delta_v^{nc}), v = \overline{1, V_{\Sigma}^{nc}} \right\}, \\ \tilde{N}_{\Sigma}^{nc} &= \left\{ \nu_v^{nc} = \nu_v^H \cdot (1 \pm \sigma_v^{nc}), v = \overline{1, V_{\Sigma}^{nc}} \right\}.\end{aligned}\quad (20)$$

Для розв'язання цієї комплексної задачі необхідно:

- розробити математичні моделі, які описують залежність техніко-економічних показників $\tilde{Y}_{\Sigma}^{men}$ ефективності роботи проектованої лінії розкрою від технічних параметрів $\tilde{X}_{\Sigma}^{mn}$ її функціональних елементів у такому вигляді:

$$\tilde{Y}_{\Sigma}^{men} = f_{\Sigma}^{men}[\tilde{X}_{\Sigma}^{mn}]; \quad (21)$$

- знайти такі значення техніко-економічних показників $\tilde{Y}_{\Sigma}^{men}$ ефективності роботи лінії розкрою

$$\tilde{Y}_{\Sigma}^{men} = \tilde{Y}_{\Sigma}^*, \quad (22)$$

які б забезпечували раціональний компроміс суперечливих вимог до технічних параметрів $\tilde{X}_{\Sigma}^{mn}$ її функціональних елементів;

- увести показники ризику $\tilde{P}_{\Sigma}^{nc}$ і $\tilde{N}_{\Sigma}^{nc}$ позаштатних ситуацій і визначити для них допустимі обмеження у вигляді (20);
- розробити математичні моделі, які описують залежність показників ризику $\tilde{P}_{\Sigma}^{nc}$ і $\tilde{N}_{\Sigma}^{nc}$ позаштатних ситуацій від технічних параметрів $\tilde{X}_{\Sigma}^{mn}$ функціональ-

них елементів лінії розкрою, а також параметрів відповідних факторів ризику $\tilde{Y}_{\Sigma}^{fp} = \{Y_i^{fp}, i = 1, J_{\Sigma}^{fp}\}$ у такому вигляді:

$$\tilde{P}_{\Sigma}^{nc} = \mathcal{G}_{\rho}^{nc} [\tilde{X}_{\Sigma}^{mn}, \tilde{Y}_{\Sigma}^{fp}], \tilde{N}_{\Sigma}^{nc} = \mathcal{G}_{\nu}^{nc} [\tilde{X}_{\Sigma}^{mn}, \tilde{Y}_{\Sigma}^{fp}]; \quad (23)$$

- знайти такі значення $\tilde{X}_{\Sigma}^0$ множини технічних параметрів $\tilde{X}_{\Sigma}^{mn}$ функціональних елементів лінії розкрою, які забезпечують виконання умови (22) у штатних режимах експлуатації і за допустимих обмежень показників ризику $\tilde{P}_{\Sigma}^{nc}$ і $\tilde{N}_{\Sigma}^{nc}$ позаштатних ситуацій (23).

Конкретні підходи до розроблення математичних моделей (21) розглянуто у роботі [3, ст. 323]. Тому обґрунтуємо тільки деякі обмеження штатних режимів експлуатації лінії розкрою та обмежень стосовно показників ризику $\tilde{P}_{\Sigma}^{nc}$ і $\tilde{N}_{\Sigma}^{nc}$ позаштатних ситуацій, які необхідно враховувати під час знаходження раціонального компромісу. На практиці значення техніко-економічних показників $\tilde{Y}_{\Sigma}^*$ ефективності роботи лінії розкрою в умові (22) здебільшого знаходяться у певних межах, які визначаються впливом конструктивних, технологічних, експлуатаційних та інших обмежень:

$$\tilde{Y}_{\Sigma}^* = \left\{ \tilde{Y}_i^* = \left\{ y_{ij}^* = [y_{ij}^-, y_{ij}^+], j = 1, J_i^{men} \right\}, i = 1, J_{\Sigma}^{men} \right\}. \quad (24)$$

Наприклад, шляхом оброблення експериментальних даних [4, 5, 6] можна встановити для конкретних конфігурацій карт розкрою як середньо вибіркові значення ефективності використання розкроюваного матеріалу і продуктивності роботи розкрійного обладнання, так і середньо квадратичні помилки для кожного середнього вибіркового. У сукупності вони формують інтервали зміни значень відповідних техніко-економічних показників.

Для штатних режимів експлуатації лінії розкрою ці інтервали зазвичай задають у такому вигляді:

$$\begin{aligned} \tilde{Y}_{\Sigma}^{men} &= \left\{ \tilde{Y}_i^{men} = [\tilde{Y}_i^-, \tilde{Y}_i^+], i = 1, J_{\Sigma}^{men} \right\}; \\ \tilde{\Lambda}_{\Sigma}^{up} &= \left\{ \lambda_{\nu}^{up} = f_{\nu}^{up} [\tilde{Y}_{\Sigma, \nu}^{men}, \tilde{X}_{\Sigma, \nu}^{mn}], \nu = 1, V_{\Sigma}^{up} \right\}, \end{aligned} \quad (25)$$

де: $\tilde{Y}_i^{men}$ – компоненти відповідних множин $\tilde{Y}_1^{евм}$, $\tilde{Y}_2^{мрц}$, $\tilde{Y}_3^{про}$ і $\tilde{Y}_4^{мср}$ (див. (18)), які створюють множину $\tilde{Y}_{\Sigma}^{men}$ потрібних техніко-економічних показників ефективності роботи лінії розкрою (див. (19)); $\tilde{\Lambda}_{\Sigma}^{up}$ – множина прогнозованих штатних режимів експлуатації лінії розкрою. Кожний інтервал $\tilde{Y}_i^{men}$ визначає допустимі межі зміни відповідного показника у разі впливу неконтрольованих факторів експлуатації лінії розкрою. Найважливішим тут є встановлення пріоритетів між цільовими функціями $\tilde{Y}_i^{men}$, $i = 1, J_{\Sigma}^{men}$ чи вагомості кожної з них зокрема. Робиться це для того, щоб, *по-перше*, зберегти певний рівень роботоздатності спроектованої конструкції лінії розкрою у разі довільних змін неконтрольованих факторів. *По-друге*, ввести додаткові умови, згідно з якими випадкові зміни кожного неконтрольованого фактора відбуваються-

ся в заздалегідь заданих допустимих межах. Наприклад, залежно від умов функціонування лінії розкрою (умови індивідуального, серійного чи масового виробництва) та залежно від складності її конструкції встановлюються орієнтовні: максимальна ефективність використання розкроюваного матеріалу, максимальна продуктивність роботи обладнання тощо. Отже, штатні умови експлуатації лінії розкрою визначають апріорно відомі інтервали допустимих змін як техніко-економічних показників ефективності її роботи, так і неконтрольованих факторів. Тому будь-який штатний режим експлуатації лінії розкрою в загальному випадку можна характеризувати як детермінований режим роботи проекрованої системи, оскільки її узагальнено описують відомі дані.

Принципово інший підхід застосовують для аналізу процесу експлуатації конструкції лінії розкрою в позаштатній ситуації. Залежить це від декількох причин. *По-перше*, у позаштатних ситуаціях можливі не тільки випадкові відхилення техніко-економічних показників ефективності роботи лінії розкрою та неконтрольованих факторів за межі допустимих інтервалів, але й можливі випадкові зміни у технологічних параметрах і конструктивних елементах. Наприклад, інколи трапляються такі специфікації заготовок, коли за рахунок застосування для даної конструкції лінії розкрою тільки певних базових конфігурацій карт розкрою неможливо досягнути навіть нормативної ефективності використання розкроюваного матеріалу. Виходом з цієї ситуації є введення до них різних комбінованих заготовок [3, ст. 149], що призводить до зміни технологічних параметрів процесу розкрою, тобто застосування допоміжного обладнання для їх розкрою [3, ст. 171]. Якщо ж такі випадки трапляються часто, то виникає потреба в удосконаленні чи зміні конструкції лінії розкрою тощо. *По-друге*, позаштатні ситуації можуть виникати внаслідок впливу побічних факторів умов її експлуатації. Наприклад, в умовах нестабільного постачання замовлених типорозмірів розкроюваного матеріалу доводиться оперативно розробляти карти розкрою на менші типорозміри плит. Ця обставина може призвести не тільки до недопустимого зниження техніко-економічних показників ефективності роботи лінії розкрою, але й до нерентабельності процесу виготовлення заготовок. Отже, режим функціонування конструкції лінії розкрою у позаштатній ситуації – принципово недетермінований режим її роботи. Звідси якраз і виникає потреба аналізу позаштатних ситуацій з використанням основних положень теорії ризику [27].

Згідно з цією теорією, будь-який ризик позаштатної ситуації враховується двома показниками: *ступенем ризику* $\rho_v^{nc} \in \tilde{P}_{\Sigma}^{nc}$ – імовірністю появи v -ої позаштатної ситуації, і *рівнем ризику* $\nu_v^{nc} \in \tilde{N}_{\Sigma}^{nc}$ – величиною можливого збитку від наслідків v -ої позаштатної ситуації, нормованою до одного з економічних показників, наприклад, до собівартості чи прибутку. Для врахування факторів ризику $\tilde{\gamma}_{\Sigma}^{fp}$ позаштатних ситуацій у задачі параметричної оптимізації технічних характеристик функціональних елементів лінії розкрою (зокрема, технологічних і конструктивних її елементів) необхідно умови (21) і (25) раціонального компромісу вимог для штатних ситуацій узгодити з до-

пустимими значеннями показників ризику (20) позаштатних ситуацій. Для цього потрібно сформулювати *інтервал допустимого ризику* $\tilde{\Psi}_{\Sigma}^{nc}$, який визначатиме допустимі зміни значень множини техніко-економічних показників $\tilde{Y}_{\Sigma}^{men}$ ефективності роботи лінії розкрою з умови, що ступінь $\tilde{P}_{\Sigma}^{nc}$ та рівень $\tilde{N}_{\Sigma}^{nc}$ ризику довільної ситуації λ_v^{nc} з множини прогнозованих позаштатних ситуацій $\tilde{\Lambda}_{\Sigma}^{nc}$ не перевищуватимуть апріорно заданих значень $\tilde{P}_{\Sigma}^0$ і $\tilde{N}_{\Sigma}^0$. Зобразимо цей інтервал зміни у такому вигляді:

$$\begin{aligned} \tilde{\Psi}_{\Sigma}^{nc} = \{ & \tilde{Y}_{\Sigma}^{men} = f_{\Sigma}^{nc}[\tilde{P}_{\Sigma}^{+}, \tilde{N}_{\Sigma}^{+}]: \tilde{P}_{\Sigma}^{+} = \mathcal{Q}_{\rho}^{nc}[\tilde{X}_{\Sigma}^{mn}, \tilde{Y}_{\Sigma}^{fp}] \leq \tilde{P}_{\Sigma}^0; \tilde{N}_{\Sigma}^{+} = \mathcal{Q}_{\nu}^{nc}[\tilde{X}_{\Sigma}^{mn}, \tilde{Y}_{\Sigma}^{fp}] \leq \tilde{N}_{\Sigma}^0 \}, \\ \tilde{\Lambda}_{\Sigma}^{nc} = \{ & \lambda_v^{nc} = f_v^{nc}[\tilde{Y}_{\Sigma,v}^{men}, \tilde{X}_{\Sigma,v}^{mn}, \tilde{Y}_{\Sigma,v}^{fp}]: \tilde{Y}_{\Sigma,v}^{men} \in \tilde{Y}_{\Sigma}^{nc}; \tilde{X}_{\Sigma,v}^{mn} \in \tilde{X}_{\Sigma}^{nc}; \tilde{Y}_{\Sigma,v}^{fp} \in \tilde{Y}_{\Sigma}^{nc}; v=1, \overline{V_{\Sigma}^{nc}} \}, \end{aligned} \quad (26)$$

де: $\tilde{P}_{\Sigma}^{+}$ і $\tilde{N}_{\Sigma}^{+}$ – відповідно максимально допустимі ступінь $\tilde{P}_{\Sigma}^{nc}$ та рівень $\tilde{N}_{\Sigma}^{nc}$ ризику довільної ситуації $\lambda_v^{nc} \in \tilde{\Lambda}_{\Sigma}^{nc}$; $\tilde{Y}_{\Sigma}^{men} \in \tilde{Y}_{\Sigma}^{nc}$, $\tilde{X}_{\Sigma}^{mn} \in \tilde{X}_{\Sigma}^{nc}$ і $\tilde{Y}_{\Sigma}^{fp} \in \tilde{Y}_{\Sigma}^{nc}$ – допустимі інтервали зміни значень елементів відповідних множин; $\tilde{\Lambda}_{\Sigma}^{nc}$ – множина прогнозованих позаштатних ситуацій, які можуть виникнути підчас експлуатації лінії розкрою. Допустимі інтервали визначаються такими співвідношеннями:

$$\tilde{Y}_{\Sigma}^{nc} = \left\{ \tilde{Y}_i^{nc} = \left\{ y_{ij}^{nc} = y_{ij}^n \cdot (1 \pm \delta_{ij}^{nc}), j=1, \overline{J_i^{men}} \right\}, i=1, \overline{J_{\Sigma}^{men}} \right\}; \quad (27)$$

$$\tilde{X}_{\Sigma}^{nc} = \left\{ \tilde{X}_i^{nc} = \left\{ x_{ij}^{nc} = x_{ij}^n \cdot (1 \pm \delta_{ij}^{nc}), j=1, \overline{J_i^{mn}} \right\}, i=1, \overline{J_{\Sigma}^{mn}} \right\}; \quad (28)$$

$$\tilde{Y}_{\Sigma}^{nc} = \left\{ \gamma_i^{nc} = \gamma_i^n \cdot (1 \pm \delta_i^{nc}), i=1, \overline{J_{\Sigma}^{fp}} \right\}. \quad (29)$$

Отже, співвідношення (25) і (26) з урахуванням обмежень (27)-(29) дають змогу описувати допустимі інтервали зміни техніко-економічних показників $\tilde{Y}_{\Sigma}^{men}$ ефективності роботи лінії розкрою для заданих допусків у штатних режимах її експлуатації і для відомих обмежень на ступінь $\tilde{P}_{\Sigma}^{nc}$ та рівень $\tilde{N}_{\Sigma}^{nc}$ ризику прогнозованих позаштатних ситуацій $\tilde{\Lambda}_{\Sigma}^{nc}$.

3. Алгоритм розв'язання задачі параметричної оптимізації

Алгоритм базується на комплексному використанні сучасних можливостей: теорії системного аналізу і методів проектування [12, 22]; засобів і методів експертних процедур [21] і штучного інтелекту, зокрема нечітких ситуаційних алгоритмів оброблення інформації [15]; методу узагальненої послідовної лінеаризації та адаптивних алгоритмів чебишевського наближення не-сумісної системи нелінійних рівнянь [24]. Він визначає структуру і взаємозв'язок процедур системного моделювання позаштатних ситуацій і параметричної оптимізації технічних характеристик функціональних елементів лінії розкрою на базі такої системи рівнянь:

$$f_{\Sigma}^{men}[\tilde{X}_{\Sigma}^{mn}] - \tilde{Y}_{\Sigma}^{men} = 0 \Rightarrow f_i^{men}[\tilde{X}_{\Sigma}^{mn}] - \tilde{Y}_i^{men} = 0, i=1, \overline{J_{\Sigma}^{men}}.$$

Алгоритм розв'язання задачі параметричної оптимізації технічних характеристик функціональних елементів лінії розкрою реалізований в інтерактивному режимі та містить такі узагальнені процедури [13, ст. 336].

1. Вибір варіанта раціональної структури функціональних елементів автоматичної лінії розкрою.
2. Розроблення математичних моделей (21) для прийнятого варіанта раціональної структури функціональних елементів лінії розкрою.
3. Вибір раціонального компромісу суперечливих вимог (22) до технічних параметрів функціональних елементів лінії розкрою.
4. Системне моделювання позаштатних ситуацій, які можуть виникнути під час експлуатації лінії розкрою.
5. Розв'язання задачі системної параметричної оптимізації технічних характеристик функціональних елементів лінії розкрою для вибраних вимог з урахуванням обмежень (25) і (26).
6. Оцінка відповідності отриманих техніко-економічних показників $\tilde{Y}_{\Sigma}^{men}$ ефективності роботи лінії розкрою бажаному рівню. Прийняття рішення про перехід до процедури 7 або 9.
7. Уточнення вимог до техніко-економічних показників $\tilde{Y}_{\Sigma}^{men}$ ефективності роботи лінії розкрою. Прийняття рішення про перехід до виконання процедури 3 або 8.
8. Пошук нового варіанта раціональної структури функціональних елементів автоматичної лінії розкрою. Перехід до виконання процедури 2.
9. Припинення діалогу. Отримання та системний аналіз розв'язків задачі.

Потреба використання інтерактивного режиму розв'язання задачі параметричної оптимізації пов'язана з тим, що для реалізації процедур 1-3 і 6-8 застосовують експертне оцінювання деяких техніко-економічних показників ефективності роботи лінії розкрою та прийняття рішення про вибір певної альтернативи.

У наведеному вище алгоритмі найскладнішою є комплексна процедура 4, яка здійснює системне моделювання позаштатних ситуацій під час експлуатації лінії розкрою. Її реалізують у вигляді такої послідовності часткових процедур:

- 4.1. Експертне прогнозування множини позаштатних ситуацій $\tilde{\Lambda}_{\Sigma}^{nc}$, які можуть виникнути під час експлуатації лінії розкрою, встановлення пріоритету або вагомості кожної з них.
- 4.2. Розроблення математичних моделей показників ризику $\tilde{P}_{\Sigma}^{nc}$ і $\tilde{N}_{\Sigma}^{nc}$ для множини прогнозованих позаштатних ситуацій $\tilde{\Lambda}_{\Sigma}^{nc}$, які можуть виникнути під час експлуатації лінії розкрою.
- 4.3. Експертне визначення значень ступеня $\tilde{P}_{\Sigma}^0$ та рівня $\tilde{N}_{\Sigma}^0$ ризику.
- 4.4. Формування інтервалу зміни допустимих значень ступеня $\tilde{P}_{\Sigma}^{nc}$ та рівня $\tilde{N}_{\Sigma}^{nc}$ ризику (26).
- 4.5. Оцінювання показників ризику для інтервалу (25).
- 4.6. Прийняття рішення про доцільність реалізації прийнятого варіанта раціональної структури функціональних елементів автоматичної лінії розкрою за результатами реалізації процедури 4.5. Перехід до виконання процедури 5, 7 або 3.

Мета реалізації процедури 4 – забезпечити необхідні *точність, достовірність та обґрунтованість* оцінки ступеня $\tilde{R}_{\Sigma}^{nc}$ та рівня $\tilde{N}_{\Sigma}^{nc}$ ризику появи позаштатних ситуацій для системної параметричної оптимізації технічних характеристик функціональних елементів лінії розкрою. У цій процедурі найскладнішою є розроблення математичних моделей для визначення показників ризику $\tilde{R}_{\Sigma}^{nc}$ і $\tilde{N}_{\Sigma}^{nc}$, які повинні відображати зміну технологічного процесу розкрою, які регулюються технічними параметрами функціональних елементів лінії розкрою за впливу неконтрольованих і побічних факторів її експлуатації.

Математичні моделі для визначення показників ризику зобразимо у такому загальному вигляді:

$$\rho_v^{nc}[\lambda_v^{nc}] = g_{\rho}^{nc}[\tilde{Y}_{\Sigma,v}^{men}, \tilde{X}_{\Sigma,v}^{mn}, \tilde{Y}_{\Sigma,v}^{fp}], \quad v_v^{nc}[\lambda_v^{nc}] = g_v^{nc}[\tilde{Y}_{\Sigma,v}^{men}, \tilde{X}_{\Sigma,v}^{mn}, \tilde{Y}_{\Sigma,v}^{fp}], \quad v=1, \overline{V_{\Sigma}^{nc}}, \quad (30)$$

де: $\tilde{Y}_{\Sigma,v}^{men}$, $\tilde{X}_{\Sigma,v}^{mn}$, $\tilde{Y}_{\Sigma,v}^{fp}$ – множини нечітких відношень, які відображають ступінь належності довільної ситуації λ_v^{nc} до множини прогнозованих позаштатних ситуацій $\tilde{\Lambda}_{\Sigma}^{nc}$ за рівнем відхилення, відповідно, $\tilde{Y}_{\Sigma}^{men}$, $\tilde{X}_{\Sigma}^{mn}$ і $\tilde{Y}_{\Sigma}^{fp}$ в інтервалах $\tilde{Y}_{\Sigma}^{nc}$, $\tilde{X}_{\Sigma}^{nc}$ і $\tilde{Y}_{\Sigma}^{nc}$ від граничних умов.

Моделі для визначення показників ризику (30) розробляють на базі узагальненої функціонально-імітаційної моделі [2, 9, 10, 20]:

$$\tilde{y} = \Phi[\tilde{x}, \tilde{\xi}],$$

де нечіткі вихідні $\tilde{y}$, вхідні $\tilde{x}$ і зовнішні некеровані показники $\tilde{\xi}$ описуються такими співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \tilde{y} &= \{\tilde{y}_i, i = \overline{1, m}\}; \quad \tilde{x} = \{\tilde{x}_j, j = \overline{1, n}\}; \quad \tilde{\xi} = \{\tilde{\xi}_q, q = \overline{1, Q}\} \\ \tilde{y}_i &\in \tilde{Y}_i; \quad \tilde{Y}_i = \{\mu_{Y_i}[y_i]: y_i \in \bar{Y}_i; \mu_{Y_i}[y_i] \in [0; 1]\}; \\ \tilde{x}_j &\in \tilde{X}_j; \quad \tilde{X}_j = \{\mu_{X_j}[x_j]: x_j \in \bar{X}_j; \mu_{X_j}[x_j] \in [0; 1]\}; \\ \tilde{\xi}_q &\in \tilde{\Xi}_q; \quad \tilde{\Xi}_q = \{\mu_{\Xi_q}[\xi_q]: \xi_q \in \bar{\Xi}_q; \mu_{\Xi_q}[\xi_q] \in [0; 1]\}; \end{aligned}$$

Вхідна інформація для розроблення відповідних моделей (30) – результати стендових випробувань різних конструкцій завантажувальних, розкрийних і розвантажувальних установок, дані експериментальних випробувань функціональних елементів відповідних установок, результати технічного діагностування діючих конструкцій автоматичних ліній розкрою у процесі їх експлуатації, а також апріорні дані, обмеження та закономірності теорії механічних, фізичних та інших процесів.

Різноманітні постановки задач, пов'язані з побудовою математичних моделей конструкції ліній розкрою та багатокритеріальної їх структурної та параметричної оптимізації, зводять до побудови послідовності чебишевських задач наближення, які описуються несумісними системами нелінійних рівнянь. Такий підхід до розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації конструкції лінії розкрою для штатного режиму її експлуатації докладно розглянуто у роботі [28].

Висновки

1. Адаптовано методику розв'язання задачі структурної оптимізації функціональних елементів складних технічних об'єктів до задачі проектування автоматизованої лінії розкрою, яка дає змогу раціонально організувати послідовно-паралельне їх розроблення на всіх ієрархічних рівнях. Встановлено, що ця задача загалом вимагає вирішення таких основних проблем: формування ієрархічної структури проекрованої лінії розкрою; формування функціональних елементів на кожному її ієрархічному рівні, розроблення та обґрунтування відповідних критеріїв їх якості; аналіз та синтез вхідної інформації, яка має значний рівень невизначеності та неповноти. Розроблено формалізований опис відповідних процедур вибору раціональної кількості ієрархічних рівнів лінії розкрою, формування раціональних вимог до функціональних елементів її ієрархічної структури, кожна з яких базується на відомому методі цілеспрямованого вибору.

2. Розроблено формалізований опис задачі параметричної оптимізації технічних характеристик функціональних елементів лінії розкрою, реалізація якої дає змогу знайти раціональний компроміс між суперечливими вимогами до їх технічних параметрів та техніко-економічних показників ефективності її роботи. Отриманий розв'язок задачі уможливорює визначення оптимальних значень параметрів функціональних елементів лінії розкрою за умови раціонального компромісу вимог до їх технічних характеристик та техніко-економічних показників ефективності роботи у штатних режимах експлуатації та за допустимих обмежень показників ризику появи позаштатних ситуацій.

3. Для розв'язання задачі параметричної оптимізації технічних характеристик функціональних елементів лінії розкрою адаптовано алгоритм, який базується на комплексному застосуванні можливостей теорії системного аналізу і сучасних методів проектування, засобів і методів експертних процедур і штучного інтелекту, а також методу узагальненої послідовної лінеаризації та адаптивних алгоритмів чебишевського наближення несумісної системи нелінійних рівнянь. Реалізація алгоритму дає змогу визначити структуру і взаємозв'язок процедур системного моделювання позаштатних ситуацій і параметричної оптимізації технічних характеристик функціональних елементів лінії розкрою.

Література

1. Герасимов Б. М. Выбор рационального варианта технической реализации сложной системы / Б. М. Герасимов, Ю. Я. Самохвалов, А. И. Бобунов // Управляющие системы и машины. – 1999. – № 5. – С. 3-6.
2. Голенко Д. И. Статистические модели в управлении производством / под ред. Н. П. Бусленко. – М. : Изд-во "Статистика", 1973. – 368 с.
3. Грицюк Ю. І. Оптимізація технологічного процесу розкрою плитних деревних матеріалів на меблевій заготовці : монографія / Ю. І. Грицюк. – Львів : Вид. дім "Панорама", 2004. – 484 с.
4. Грицюк Ю. І. Дослідження впливу базових конфігурацій карт розкрою на ефективність використання плитного деревного матеріалу / Грицюк Ю. І. // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ УкрДЛТУ. – 2005. – Вип. 15.2. – С. 81-95.
5. Грицюк Ю. І. Дослідження впливу базових конфігурацій карт розкрою та типорозмірів плитних деревних матеріалів на зміну ефективності їх використання / Грицюк Ю. І. // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ УкрДЛТУ. – 2005. – Вип. 15.3. – С. 92-106.

6. Грицюк Ю. І. Дослідження впливу базових конфігурацій карт розкрою та типорозмірів ПДМ на зміну продуктивності роботи розкрійного обладнання / *Грицюк Ю. І.* // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2007. – Вип. 17. 1. – С. 102-111.

7. Грицюк Ю. І. Структурно-функціональний аналіз технологічного процесу розкрою плитних деревних матеріалів / *Грицюк Ю. І.* // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.1. – С. 252-264.

8. Грицюк Ю. І. Стратегія розв'язання задачі структурно-функціонального аналізу технологічного процесу розкрою / *Грицюк Ю. І.* // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.3. – С. 87-99.

9. Дудюк Д. Л. Імітаційне моделювання гнучких автоматизованих ліній у лісовиробничому комплексі : навч. посібник / *Дудюк Д. Л., Максимів В. М., Сорока Л. Я.* – К. : Вид-во ІС-ДО, 1996. – 140 с.

10. Дудюк Д. Л. Моделювання та оптимізація об'єктів і систем керування : навч. посібник / *Дудюк Д. Л., Максимів В. М., Сорока Л. Я.* – К. : Вид-во ІЗМН, 1998. – 248 с.

11. Ємець О. О. Задачі комбінаторної оптимізації з дробово-лінійними функціями : монографія / *О. О. Ємець, Л. М. Колєчкіна.* – К. : Вид-во "Наук. думка", 2005. – 117 с.

12. Згуровский М. З. Интегрированные системы оптимального управления и проектирования : підручник / *М. З. Згуровский.* – К. : Изд-во "Высш. шк.", 1990. – 351 с.

13. Згуровський М. З. Основи системного аналізу : підручник / *М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова.* – К. : Вид-ча гр. ВНУ, 2007. – 544 с.

14. Калашников Ю. В. Представление и использование знаний для автоматизированного контроля функционирования сложных динамических объектов / *Калашников Ю. В.* // За-рубежная радиоэлектроника. – 1992. – № 7. – С. 3-23.

15. Мелихов А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / *Мелихов А. Н., Берштейн Л. С., Коровин С. Я.* – М. : Изд-во "Наука", 1990. – 272 с.

16. Месарович М. Общая теория систем : математические основы / *М. Месарович, Я. Тахакара.* – М. : Изд-во "Мир", 1978. – 311 с.

17. Михалевич В. С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / *В. С. Михалевич, В. Л. Волкович.* – М. : Изд-во "Наука", 1982. – 286 с.

18. Михалевич В. С. Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования : Модели, методы, алгоритмы / *Михалевич В. С., Трубин В. А., Шор Н. З.* – М. : Изд-во "Наука", 1986. – 264 с.

19. Михалевич В. С. Информационная система для оценки риска экологических катастроф / *В. С. Михалевич, В. М. Яненко, К. Л. Аппоев* // Моделирование функционального состояния организма и управление им. – К. : Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова. – 1993. – С. 52-74.

20. Молчанов А. А. Моделирование и проектирование сложных систем / *А. А. Молчанов.* – К. : Изд-во "Выща шк." Гл. изд-во, 1988. – 359 с.

21. Нанкова Л. А. Организация экспертизы и анализ экспертной информации / *Нанкова Л. А., Петровский А. М., Шнейдерман М. В.* – М. : Изд-во "Наука", 1984. – 120 с.

22. Панкратова Н. Д. Системная оптимизация конструктивных элементов современной техники / *Н. Д. Панкратова* // Кибернетика и системный анализ. – 2001. – № 3. – С. 119-131.

23. Панкратова Н. Д. Рациональный выбор иерархической структуры сложной системы / *Н. Д. Панкратова, Б. И. Курилин* // Доповіді НАН України. – 1999. – № 9. – С. 54-59.

24. Ремез Е. Я. Основы численных методов чебышевского приближения / *Е. Я. Ремез.* – К. : Вид-во "Наук. думка", 1969. – 624 с.

25. Северцев Н. А. Оптимальный выбор варианта технического изделия / *Н. А. Северцев, А. И. Дивеев* // Проблемы машиностроения и надежности машин. – М. : Изд-во РАН. – 1995. – № 5. – С. 3-8.

26. Технические средства диагностирования : справочник / под ред. *В. В. Клюева.* – М. : Изд-во "Машиностроение", 1989. – 672 с.

27. Хьютсон А. Дисперсионный анализ / *А. Хьютсон.* – М. : Изд-во "Статистика", 1971. – 488 с.

28. Pankratova N. D. System modelling of outstandard situations at designing of complex constructions / *N. D. Pankratova, B. I. Kurilin* // Доповіді НАН України. – 1999. – № 3. – С. 56-60.