

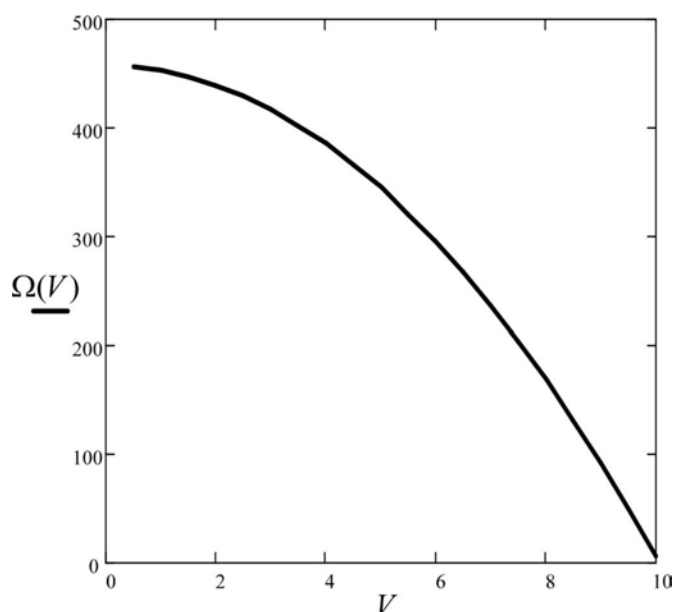


Рис. 4.

Висновки. Представлені залежності показують:

- по-перше, зростання поздовжньої швидкості руху гнучкого елемента спричиняє зменшення власної частоти поперечних коливань;
- по-друге, нехтування видовженнями гнучких елементів систем приводу при їх поперечних коливаннях призводить до занижених значень власних частот;
- по-третє, із зростанням амплітуди коливань власна частота поперечних коливань гнучких елементів зростає.

Представлену методику можна узагальнити і на випадок неавтономних систем.

Література

1. Мартинців М.П., Сокіл Б.І., Сокіл М.Б. Хвильові процеси в однорідних нелінійно пружних системах і методи їх дослідження // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів : УкрДЛТУ. – 2003. – Вип. 28. – С. 81-89.
2. Мартинців М.П., Сокіл М.Б. Одне узагальнення методу Д'аламбера для систем, які характеризуються поздовжнім рухом // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : УкрДЛТУ. – 2003. – Вип. 13.4. – С. 64-67.
3. Харченко Є.В., Сокіл М.Б. Вимушені коливання рухомих середовищ і асимптотичний метод у їх дослідженні // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : НЛТУ України. – 2006. – Вип. 16.1. – С. 134-139.
4. Доценко П.Д. Колебание и устойчивость движущейся полосы // Машиноведение. – 1969. – № 5. – С. 18-24.
5. Сліпчук А.М. Нелінійні поперечні коливання пружного рухомого канату і методи їх дослідження // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів : УкрДЛТУ, 2003. – Вип. 28. – С. 89-94.
6. Галеркин Б.Г. Стержни и пластинки // Вестник инженеров техников. – 1915. – № 19. – С. 23-32.
7. Сеник П.М. Про Ateb-функції // Доповіді АН УРСР. – 1968. – № 1. – С. 23-26.
8. Сеник П.М. Обернення неповної Beta-функції // Український математичний журнал. – 1969. – 21. – № 3. – С. 325-333.

УДК [004.451]:621.7.01

Доц. Ю.І. Грицюк, канд. техн. наук –
НЛТУ України, м. Львів

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОЗКРОЮ ПЛИТНИХ ДЕРЕВНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянуто структурно-функціональний аналіз (СФА) технологічного процесу (ТП) розкрою плитних деревних матеріалів (ПДМ) як складної ієрархічної системи, який є основою для його розроблення (проектування та експериментального випробування) або перевірки раціональності наявного. За результатами СФА відбувається

визначення потенційно необхідних якісних і кількісних показників структури ТП розкрою та його функцій, а також знаходить раціональний компроміс зв'язків і залежностей між його функціональними елементами. Наведено змістовне формулювання загальної задачі системного аналізу ТП розкрою, подано формалізований опис задачі СФА ТП розкрою.

Ключові слова: системний аналіз, технологічний процес розкрою, оптимізація плану розкрою, методи комбінаторної оптимізації, прийняття оптимальних управлінських рішень.

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

Structurally functional the analysis of technological process of cutting out platen wooden materials

It is considered structurally functional the analysis (SFA) of technological process (TP) of cutting out platen wooden materials (PWM) as difficult hierarchical system, which is basis for his development (planning and experimental test) or verification of rationality present. As a result of SFA there is determination potentially of necessary high-quality and quantitative indexes of structure of TP will cut out and his functions, and also finds the rational compromise of connections and dependences between his functional elements. Rich in content general problem of analysis of the systems of TP definition is resulted of cutting out, the formalized task of SFA TP specification is given of cutting out.

Keywords: system analysis, technological process of cutting, optimization of cutting plan, methods of combinatorial optimization, making the optimal managerial decisions.

1. Формулювання задачі системного аналізу ТП розкрою ПДМ

Задача системного аналізу ТП розкрою ПДМ належить до класу *задач організованої складності*, оскільки вони описують такі властивості об'єктів як ієрархічність, супідрядність, адаптивність, стійкість, керованість тощо [11, ст. 305]. Проте на сьогодні методологічні підходи до її розв'язання розроблено недостатньо. Вони розвиваються завдяки широкому застосуванню евристичних прийомів і методів створення інтелектуальних засобів підтримки рішень на основі систематизації, узагальнення та нагромадження знань і досвіду дослідників з різних галузей науки і техніки [1-3, 5-10, 12, 13].

З усіх можливих етапів життєвого циклу дослідження ТП розкрою розглянемо тільки етап розроблення, зокрема – проектування, уникаючи поки що експериментального випробування. Вибір саме його з-поміж багатьох інших базується на тому, що він є найскладнішим і найвідповідальнішим. Складність цього етапу пов'язана з *невизначеністю* мети розроблення, структури і функцій ТП розкрою, властивостей функціональних елементів, а також він характеризується *неповнотою*, *неточністю* та *суперечливістю* вхідної інформації. Відповідальність полягає в тому, що саме на цьому етапі приймають найважливіші рішення щодо майже всіх особливостей створюваної системи, і тому поява навіть незначної помилки загалом може призвести до непередбачених витрат. Окрім того, задачі системного аналізу ТП розкрою для інших етапів його життєвого циклу, наприклад, етапів виготовлення та експлуатації розкрійного обладнання, є не тільки аналогічними, але зазвичай окремими випадками відповідних задач етапу розроблення.

Принциповою особливістю процесу створення ТП розкрою ПДМ є заздалегідь непередбачене поєднання різноманітних неформалізованих пос-

тановок задач і достатня трудомістких обчислювальних процедур їх розв'язання. Наприклад, основою проектування розкрійного обладнання, з якого складається ТП розкрою, – технічне завдання (ТЗ), яке визначає його призначення, сферу застосування, основні функції та загальні характеристики, а також основні вимоги до технічних, експлуатаційних й інших показників якості. Невід'ємною особливістю вимог до проєктованій лінії розкрою є їхня суперечливість. Наприклад, вимога значної продуктивності лінії розкрою суперечить вимозі високої ефективності використання розкроюваного матеріалу, вимога зменшення технологічної собівартості процесу розкрою – вимозі підвищення потужності дільниці розкрою тощо.

Окрім того, у ТЗ на проектування лінії розкрою не завжди визначено деякі найважливіші дані щодо:

- функціонування в умовах дрібносерійного, серійного чи крупносерійного виробництва;
- експлуатації в режимі індивідуального чи потокового виробництва;
- наявності та відсутності тих чи інших технологічних і конструктивних обмежень;
- особливостей умов експлуатації – штатних, позаштатних і критичних;
- особливостей взаємодії з іншими однотипними лініями розкрою та аналогічними системами.

Здебільшого немає впевненості також і в тому, що виставлені замовником вимоги до лінії розкрою вибрані раціонально, системно погоджені між собою та є сумісними.

Невизначеність, неповнота, неточність, нечіткість та суперечливість вхідної інформації на початковому етапі розроблення ТП розкрою потребує розв'язання низки важливих задач, взаємопов'язаних між собою єдиною метою – виконанням ТЗ у межах виділених ресурсів і заданого ліміту часу. Такі задачі поділяються на три важливі групи [11, ст. 310]: задачі СФА ТП розкрою; задачі аналізу управління процесом функціонування ТП розкрою; задачі техніко-економічного аналізу ТП розкрою. Кожну задачу з цих груп розв'язують за наявності багатофакторних ризиків, породжених не завжди достовірною вхідною інформацією.

З огляду на сказане вище наведемо таке формулювання *загальної задачі системного аналізу ТП розкрою ПДМ*.

Відомо: дані про ТП розкрою ПДМ, які визначають сферу його застосування, основні функції та загальні характеристики, основні вимоги до функціональних, технологічних, конструктивних і експлуатаційних показників якості. Апріорно відомо, що ці дані функціонально неповні, неточні та суперечливі між собою.

Потрібно: визначити загальну ієрархічну структуру ТП розкрою ПДМ; раціонально розподілити вимоги до функціональних елементів усіх його ієрархічних рівнів; розробити та обґрунтувати критерії оцінки якості прийнятих проєктних рішень щодо лінії розкрою загалом та її функціональних елементів зокрема; оптимізувати проєктні рішення щодо вибору функціональних елементів за прийнятими критеріями; виконати задані вимоги до проєктованої лінії розкрою.

Складна ієрархічна структура ТП розкрою ПДМ призводить до багаторівневого та неодноразового процесу формування та прийняття рішень, послідовного розв'язування наведених вище трьох груп задач. Процедура розв'язання кожної з них – інтерактивна. Наприклад, отримавши хоча б один неприйнятний розв'язок задачі із третьої групи, потрібно повторити процес розв'язання задач з двох попередніх груп, уточнивши при цьому вхідні дані з огляду на вже набутий досвід їх розв'язання. Агрегування результатів розв'язання усіх трьох груп задач дає шуканий розв'язок загальної задачі системного аналізу ТП розкрою.

2. Формалізація задачі СФА ТП розкрою ПДМ

Формалізація задачі СФА ТП розкрою ПДМ впливає із загальної задачі системного аналізу складних ієрархічних систем [11, ст. 311]. Спробуємо її адаптувати до наших потреб, звівши спочатку ТП розкрою до певної ієрархічної структури. Потреба структурування пов'язана зі зручністю та видимістю процесу розроблення ТП розкрою. Структурування дає змогу істотно спростити процес розв'язання задачі СФА як на етапі проектування – використання типових елементів, вузлів, модулів чи секцій, так і на етапі експериментального випробування – спрощення процесу діагностування, поліпшення ремонтпридатності, скорочення номенклатури запасних частин, підвищення надійності її роботи. Однак основним недоліком структурування ТП розкрою є складність створення такої його ієрархічної структури і такого формалізованого опису, за якими будь-які два альтернативні варіанти його проектних рішень незалежно від того, якими способами і прийомами їх отримано, можна було б точно, всебічно та об'єктивно порівняти між собою.

На рис. 1 схематично показано деяку множину варіантів ТП розкрою ПДМ [4, ст. 14], організованих на базі Г-подібних автоматичних ліній розкрою з притискними балками [4, ст. 439]. З рисунку видно, що різниця між цими лініями полягає тільки у завантажувальних і розвантажувальних установках, у відсутності чи наявності базувальних і приймальних столів перед відповідними пилковими установками, а також їх ширинами чи відповідними довжинами. Необхідно зважити також на те, що кожна з цих ліній може комплектуватися відповідними функціональними елементами, розрахованими на розкрій ПДМ конкретних типорозмірів: довжиною від 2500 до 6500 мм з кроком 500 мм, шириною 1500, 1800, 2200 і 2500 мм. Окрім цього, відповідні пилкові установки можуть комплектуватися привідними пристроями різної потужності, що істотно відображається на загальній кількості одночасно розкроюваних плит, а значить і на продуктивності роботи обладнання.

Оскільки основна особливість структурування ТП розкрою полягає у забезпеченні зручності його опису з точки зору конкретного дослідника, то цей процес здебільшого є неформалізованим і повністю суб'єктивним. Проте існують загальні ідеї та прийоми структурування складних ієрархічних систем (в т.ч. і ТП розкрою), яких зазвичай необхідно дотримуватися для запобігання подальшого непорозуміння. Зупинимось детальніше на деяких з них.

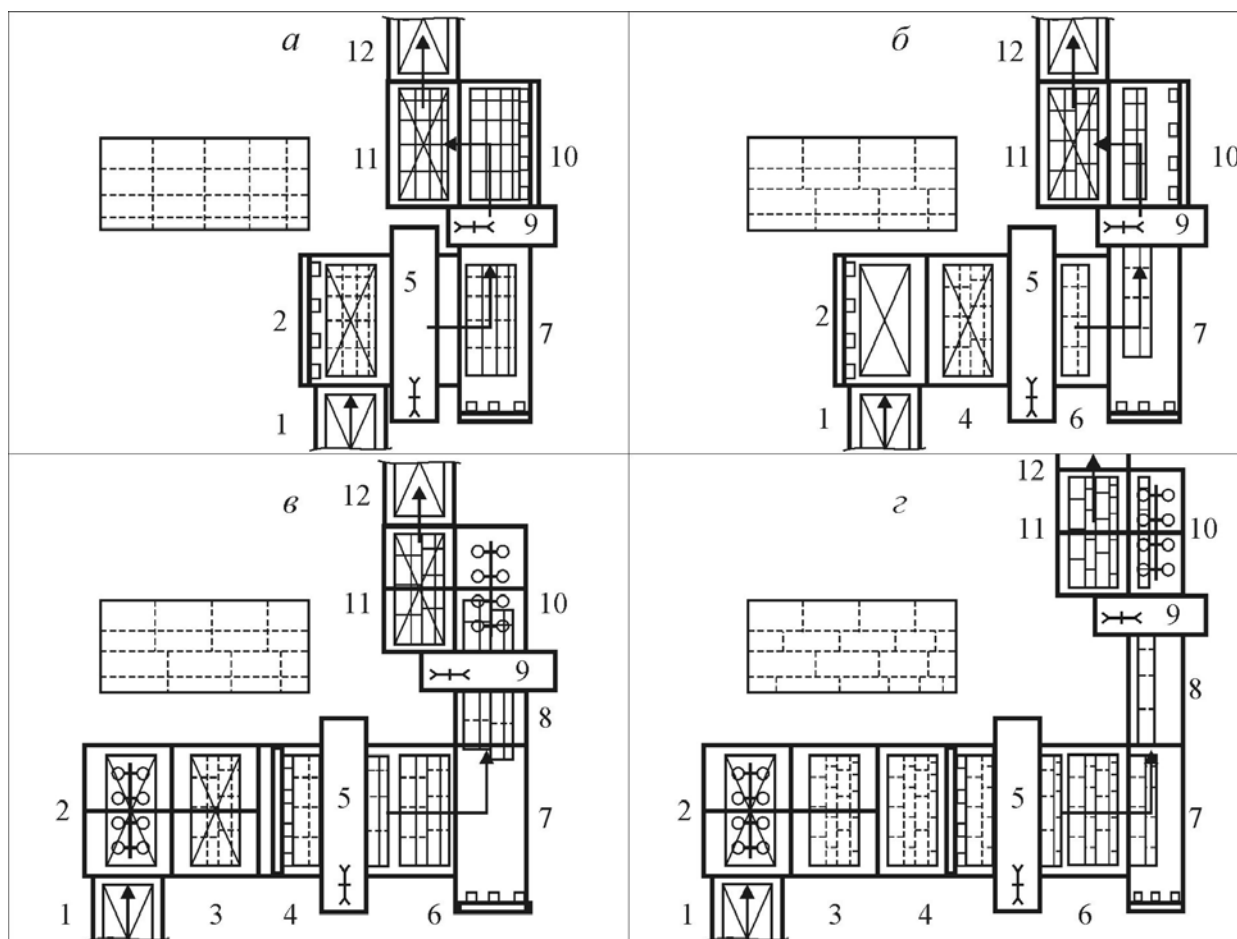


Рис. 1. Найпростіші варіанти ТП розкрою ПДМ, організовані на базі Г-подібних автоматичних ліній з притискними балками: 1, 12 – подавальний конвеєр; 2 – підіймальний стіл з завантажувальною установкою; 3 – базувальний стіл закладки плит; 4 – передавальний стіл закладки плит; 5 – пилкова установка поздовжнього розкрою; 6 – передавальний стіл закладок відрізаних смуг; 7 – базувальний стіл закладок смуг; 8 – передавальний стіл закладок смуг; 9 – пилкова установка поперечного розкрою; 10 – приймальний стіл закладок заготовок; 11 – опускний стіл з розвантажувальною установкою

2.1. Формалізований опис властивостей ТП розкрою ПДМ, вимог до нього та його ієрархічної структури

Як зазначалося вище, реалізація ТП розкрою ПДМ на заготовки здійснюється за допомогою різного устаткування – завантажувального, передавального, розкрійного, розвантажувального тощо. На сьогодні усе це устаткування переважно об'єднано у автоматичні лінії розкрою. Кожне устаткування має свої індивідуальні властивості, які у сукупності реалізують властивості лінії розкрою.

Перелік властивостей автоматичної лінії розкрою зобразимо у вигляді множини відповідних категорії, впорядкованих за їх значущістю:

$$\tilde{B}_{\Sigma}^e = \left\{ \tilde{B}_v^e = \left\{ b_{vi}^e, i = \overline{1, K_v^e} \right\} : \tilde{B}_v^e \geq \tilde{B}_{v-1}^e, v = \overline{1, K_{\Sigma}^e} \right\}, \quad (1)$$

де: $\tilde{B}_v^e$ – назва v -ої категорії властивостей лінії розкрою; b_{vi}^e – назва i -ої властивості v -ої категорії; K_{Σ}^e – загальна кількість категорії; K_v^e – кількість властивостей, які належать v -ій категорії. Наприклад, такими категоріями властивостей можуть бути структурні, функціональні, конструктивно-технологічні,

а також економічні, ергономічні, екологічні тощо. У функціональній категорії властивостями можуть виступати керованість, чутливість, стійкість, координованість, адаптованість, складність, ефективність, надійність та інші. Водночас до конструктивно-технологічних властивостей належать наявність різних обмежень, можливість реалізації певних концептуальних схем і відповідних їм базових конфігурацій карт розкрою тощо.

Кожну властивість характеризують певні показники, які узагальнено подамо у вигляді такої множини:

$$\tilde{\tilde{Y}}_{\Sigma}^e = \left\{ \tilde{Y}_v^e = \left\{ \tilde{Y}_{vi}^e = \left\{ y_{vik}^e, k = \overline{1, K_{vi}^e} \right\}, i = \overline{1, K_v^e} \right\}, v = \overline{1, K_{\Sigma}^e} \right\}, \quad (2)$$

де: $\tilde{Y}_v^e$ – множина показників, які характеризують властивості v -ої категорії; $\tilde{Y}_{vi}^e$ – множина показників, які характеризує i -ту властивість v -ої категорії; y_{vik}^e – значення k -го показника, який характеризує i -ту властивість v -ої категорії; K_{vi}^e – кількість показників, які характеризують i -ту властивість v -ої категорії. Наприклад, у функціональній категорії така властивість як складність характеризується такими показниками: структурна, функціональна, технологічна, конструктивна та інформаційна. Водночас функціональна властивість ефективність – такими показниками: технологічна, економічна, техніко-економічна.

Перелік *вимог до властивостей автоматичної лінії розкрою* можна узагальнено подати у такому вигляді:

$$\tilde{\tilde{A}}_{\Sigma}^e = \left\{ \tilde{A}_v^e = \left\{ \tilde{A}_{vi}^e = \left\{ a_{vik}^e, k = \overline{1, K_{vi}^e} \right\}, i = \overline{1, K_v^e} \right\}, v = \overline{1, K_{\Sigma}^e} \right\}, \quad (3)$$

де: $\tilde{A}_v^e$ – множина вимог до властивостей v -ої категорії; $\tilde{A}_{vi}^e$ – множина вимог до i -ої властивості v -ої категорії; a_{vik}^e – поточне значення k -ої вимоги до показника, який характеризує i -ту властивість v -ої категорії.

Вимоги до показників, які характеризують властивості певної категорії, задають у вигляді інтервалу допустимих значень або необхідного значення в одному з таких виглядів:

$$a_{vik}^- \leq y_{vik}^B \leq a_{vik}^+; y_{vik}^B \leq a_{vik}^H \pm \Delta_{vik}^e; y_{vik}^B = a_{vik}^H \cdot (1 \pm \delta_{vik}^e),$$

де: a_{vik}^H – номінальне значення k -ої вимоги до показника, який характеризує i -ту властивість v -ої категорії; Δ_{vik}^e , δ_{vik}^e – абсолютне та відносне значення допуску.

Множину *умов експлуатації лінії розкрою* подамо у такому вигляді:

$$\tilde{E}_{\Sigma}^y = \left\{ e_k^y = e_k^H \cdot (1 \pm \delta_k^y), k = \overline{1, K_{\Sigma}^y} \right\}, \quad (4)$$

де: e_k^y , e_k^H – поточне і номінальне значення k -ої умови експлуатації; δ_k^y – відносне значення допуску; K_{Σ}^y – загальна кількість умов експлуатації лінії розкрою.

До умов експлуатації автоматичної лінії розкрою належать зовнішні фактори впливу – допустимі температура і вологість навколишнього середо-

вища, рівень вібрації та шуму, освітлення, забрудненість повітряних мас тощо. Окрім цього, важливими зовнішніми факторами, які значно впливають на ефективність роботи лінії розкрою, є перепади у відповідних мережах: напруги живлення; тиску стиснутого повітря для роботи завантажувально-розвантажувальних установок; тиску розрідженого повітря для роботи витяжних установок. Допустимі значення відповідних факторів ризику в штатній, позаштатній і критичній ситуаціях визначають у процесі розроблення лінії розкрою або коротко характеризують у ТЗ.



Рис. 2. Ієрархічна структура Г-подібної автоматичної лінії розкрою ПДМ на заготовки з притискними балками

Формалізований опис структури і функцій автоматичної лінії розкрою. Загалом структуру лінії розкрою можна подати у вигляді ієрархічної схеми (рис. 2), яку складено на підставі рис. 1, 2. Для інших конфігурацій розкрійного обладнання (див. рис. 1, а-в) можуть бути відсутні ті чи інші її функціональні елементи. З рис. 2 видно, що найпростіша структура лінії розкрою складається з чотирьох ієрархічних рівнів, на кожному з яких можуть знаходитися від двох до чотирьох функціональних елементів.

Формалізований опис структури автоматичної лінії розкрою ПДМ на заготовки зобразимо у вигляді такої множини ієрархічних рівнів:

$$\tilde{S}_{\Sigma}^P = \{s_q^P, q = \overline{1, Q_{\Sigma}^P}\}, \quad (5)$$

де: s_q^P – назва q -го ієрархічного рівня; Q_{Σ}^P – загальна кількість ієрархічних рівнів. Кожен ієрархічний рівень лінії розкрою складається з певної множини функціональних елементів, які узагальнено подамо у такому вигляді:

$$\tilde{\Phi}_{\Sigma}^e = \{\tilde{\Phi}_q^e = \{\Phi_{qj}^e, j = \overline{1, J_q^e}\}, q = \overline{1, Q_{\Sigma}^P}\}, \quad (6)$$

де: $\tilde{\Phi}_q^e$ – множина функціональних елементів, з яких складається q -ий ієрархічний рівень; Φ_{qj}^e – назва j -го функціонального елемента, який знаходиться

на q -му ієрархічному рівні; J_q^e – кількість функціональних елементів, з яких складається q -ий ієрархічний рівень.

Кожна множина функціональних елементів характеризується певною множиною параметрів, які узагальнено подамо у такому вигляді:

$$\tilde{X}_\Sigma^n = \left\{ \tilde{X}_q^n = \left\{ \tilde{X}_{qj}^n = \left\{ x_{qjk}^n, k = \overline{1, J_{qj}^n} \right\}, j = \overline{1, J_q^e} \right\}, q = \overline{1, Q_\Sigma^p} \right\}, \quad (7)$$

де: $\tilde{X}_q^n$ – множина параметрів, які характеризують функціональні елементи на q -му ієрархічному рівні; $\tilde{X}_{qj}^n$ – множина параметрів, які характеризують j -ий функціональний елемент на q -му ієрархічному рівні; x_{qjk}^n – значення k -го параметра, який характеризує j -ий функціональний елемент на q -му ієрархічному рівні; J_{qj}^n – кількість параметрів, які характеризують j -ий функціональний елемент на q -му ієрархічному рівні.

Під множиною параметрів, які характеризують функціональні елементи проекрованої лінії розкрою, розуміють відповідні технічні характеристики: розмірні параметри розкроюваного матеріалу і отриманої продукції; технологічні параметри процесу розкрою; конструктивні параметри лінії розкрою; переміщувальні параметри різальних інструментів і передавальних механізмів; енергетичні параметри приводів та силові параметри установок тощо.

Кожний функціональний елемент виконує деяку множину функцій, які між собою визначені таким співвідношенням:

$$\tilde{F}_\Sigma^\phi = \left\{ \tilde{F}_q^\phi = \left\{ \tilde{F}_{qj}^\phi = \left\{ f_{qjk}^\phi = \mathcal{G}^\phi[\tilde{X}_{qj}^n], k = \overline{1, J_{qj}^\phi} \right\}, j = \overline{1, J_q^e} \right\}, q = \overline{1, Q_\Sigma^p} \right\}, \quad (8)$$

де: $\tilde{F}_q^\phi$ – множина функцій, які виконують функціональні елементи на q -му ієрархічному рівні; $\tilde{F}_{qj}^\phi$ – множина функцій, які виконує j -ий функціональний елемент на q -му ієрархічному рівні; f_{qjk}^ϕ – назва k -ої функції, яку виконує j -ий функціональний елемент на q -му ієрархічному рівні; J_{qj}^ϕ – кількість функцій, які виконує j -ий функціональний елемент на q -му ієрархічному рівні. Наприклад, для вакуумних завантажувальних установок переважно визначені такі функції (операції): опускання вакуумного захопу; захоплення плити з підіймального стола; піднімання плити; переміщення каретки з плитою до базувального стола; опускання плити; відпускання плити захопом; піднімання вакуумного захопу; переміщення каретки до підіймального стола [2; 4, ст. 59]. Оскільки ефективність k -ої функції, яку виконує j -ий функціональний елемент на q -му ієрархічному рівні, залежить від множини параметрів $\tilde{X}_{qj}^n$, то склад функцій і їх вигляд визначається у процесі виконання системного аналізу.

Кожний функціональний елемент впливає на часткові та загальні властивості автоматичної лінії розкрою. Ступінь їх впливу у загальному випадку описують таким функціоналом:

$$F^n : \tilde{X}_\Sigma^n \rightarrow \tilde{Y}_\Sigma^n, \quad (9)$$

де: $\tilde{X}_{\Sigma}^n$ – загальна множина параметрів системи (7), які характеризують її функціональні елементи; $\tilde{Y}_{\Sigma}^n$ – загальна множина показників системи (2), які визначають її властивості; F^n – функціонал, який реалізує перетворення параметрів функціональних елементів проекрованої лінії розкрою на показники її властивостей.

Формування множини показників властивостей лінії розкрою (2) і параметрів її функціональних елементів (7) та реалізація перетворення (9) – одне з основних завдань СФА ТП розкрою за групою вимог і умов функціонування, заданих співвідношеннями (3) і (4). Цього досягають одночасним неформальним вибором структури автоматичної лінії розкрою загалом і функціональних елементів на кожному з її ієрархічних рівнів.

Допустимі розв'язки задачі СФА ТП розкрою можна отримати, використовуючи імітаційне моделювання заданих властивостей автоматичної лінії розкрою. За його результатами здійснюється оцінка можливості реалізації заданих вимог і розкриття невизначеності цілей та умов експлуатації. Потім потрібно знайти раціональний компроміс між суперечливими вимогами до проекрованої лінії розкрою загалом і раціонально розподілити вимоги до показників її функціональних елементів на усіх ієрархічних рівнях.

2.2. Формалізований опис задачі СФА ТП розкрою

Наведений вище формалізований опис ієрархічної структури і функціональних елементів лінії розкрою дає змогу перейти до *формалізованого опису* задачі СФА ТП розкрою ПДМ на заготовки. Відбувається це на *етані ескізного проектування*, де також визначають допустимі шляхи її розв'язання. Подальше уточнення як математичного формулювання задачі, так і розрахункових процедур алгоритму отримання її розв'язку здійснюють на *етані технічного проектування*.

Визначено: загальні вимоги до властивостей автоматичної лінії розкрою:

$$\tilde{A}_{\Sigma}^g = \{a_v^g, v = \overline{1, K_{\Sigma}^g}\}, \quad (10)$$

які не повністю описують її властивості та показники (1)-(2). Визначено також основні умови експлуатації лінії розкрою у вигляді (4), її призначення та область застосування.

Потрібно: розробити ієрархічну структуру лінії розкрою та визначити функціональні елементи на всіх її ієрархічних рівнях; з урахуванням загальних вимог (10) обґрунтувати вимоги до функціональних елементів на всіх її ієрархічних рівнях; розробити й обґрунтувати математичні моделі, які встановлюватимуть зв'язки параметрів функціональних елементів лінії розкрою з показниками її властивостей у формі (9); розробити критерії оцінки виконання заданих вимог; вибрати й обґрунтувати такі проектні рішення, які забезпечують мінімальну відмінність отриманої множини властивостей лінії розкрою (1) від заданої множини загальних вимог до неї (10) з урахуванням прийнятих критеріїв і встановлених допусків.

Формалізований опис задачі СФА ТП розкрою ПДМ на заготовки подамо у вигляді послідовної реалізації таких часткових задач.

1. *Задача декомпозиції вимог до проекрованої лінії розкрою.* За заданою множиною загальних вимог $\tilde{A}_\Sigma^e$ до властивостей лінії розкрою (10) потрібно виконати послідовність таких перетворень:

$$F_\Sigma^e : \tilde{A}_\Sigma^e \rightarrow \bigcup_{q=1}^{Q_\Sigma^e} \tilde{A}_q^e ; F_q^e : \tilde{A}_q^e \rightarrow \bigcup_{j=1}^{J_q^e} \tilde{A}_{qj}^e ; F_{qj}^e : \tilde{A}_{qj}^e \rightarrow \bigcup_{k=1}^{J_{qj}^e} a_{qjk}^e , \quad (11)$$

де: F_Σ^e – функціонал, який здійснює перетворення загальних вимог до властивостей лінії розкрою на вимоги до властивостей q -го ієрархічного рівня; F_q^e – функціонал, який здійснює перетворення множини вимог до властивостей q -го ієрархічного рівня на вимоги до властивостей його j -го функціонального елемента; F_{qj}^e – функціонал, який здійснює перетворення множини вимог до властивостей j -го функціонального елемента на значення k -ої вимоги; $\tilde{A}_q^e$ – множина вимог до властивостей функціональних елементів, з яких складається q -ий ієрархічний рівень; $\tilde{A}_{qj}^e$ – множина вимог до властивостей j -го функціонального елемента на q -му ієрархічному рівні; a_{qjk}^e – значення k -ої вимоги до властивостей j -го функціонального елемента на q -му ієрархічному рівні. Функціонали F_Σ^e , F_q^e , F_{qj}^e і множини $\tilde{A}_q^e$, $\tilde{A}_{qj}^e$, a_{qjk}^e визначають з умов, заданих співвідношеннями (15), (16).

Внаслідок виконання перетворень, заданих формалізованими виразами (11), отримаємо індивідуальні вимог до будь-яких функціональних елементів на кожному ієрархічному рівні проекрованої лінії розкрою, а саме:

$$\tilde{A}_\Sigma^e = \left\{ \tilde{A}_q^e = \left\{ \tilde{A}_{qj}^e = \left\{ a_{qjk}^e, k = \overline{1, J_{qj}^e} \right\}, j = \overline{1, J_q^e} \right\}, q = \overline{1, Q_\Sigma^e} \right\} . \quad (12)$$

2. *Задача формування багаторівневої структури проекрованої лінії розкрою.* Потрібно за умов, визначених співвідношеннями (11), побудувати послідовність таких перетворень:

$$f_\Sigma^e : \tilde{\Phi}_\Sigma^e \rightarrow \bigcup_{q=1}^{Q_\Sigma^e} \tilde{\Phi}_q^e ; f_\Sigma^{-1} : \bigcup_{q=1}^{Q_\Sigma^e} \tilde{\Phi}_q^e \rightarrow \tilde{\Phi}_\Sigma^e ; f_q^e : \tilde{\Phi}_q^e \rightarrow \bigcup_{j=1}^{J_q^e} \Phi_{qj}^e , \quad (13)$$

де: f_Σ^e – функціонал, який здійснює перетворення загальної конструкції лінії розкрою на конструкцію q -го ієрархічного рівня; f_Σ^{-1} – функціонал, який здійснює зворотне перетворення конструкції q -го ієрархічного рівня на загальну конструкцію лінії розкрою; f_q^e – функціонал, який здійснює перетворення конструкції q -го ієрархічного рівня на її j -ий функціональний елемент. Функціонали f_Σ^e , f_Σ^{-1} , f_q^e і множини $\tilde{\Phi}_\Sigma^e$, $\tilde{\Phi}_q^e$, Φ_{qj}^e визначають з умов, заданих співвідношеннями (15), (16).

Щоб зрозуміти основні принципи таких перетворень, згадаймо, загальна конструкція лінії розкрою складається з завантажувальної, розкрійних і розвантажувальної установок, кожна з яких складається з відповідних функціональних елементів.

3. *Задача раціонального вибору параметрів функціональних елементів проекрованої лінії розкрою.* Потрібно за умов, визначених співвідношенням

(13), а також за умовами (11), (15) і (16) знайти прямі та обернені нечіткі відношення:

$$\begin{aligned} (\tilde{\tilde{A}}_{\Sigma}^{\varepsilon}, \tilde{\tilde{Y}}_{\Sigma}^n) &\rightarrow \tilde{\tilde{R}}_{\Sigma}; (\tilde{\tilde{Y}}_{\Sigma}^n, \tilde{\tilde{A}}_{\Sigma}^{\varepsilon}) \rightarrow \tilde{\tilde{R}}_{\Sigma}^{-1}; (\tilde{\tilde{A}}_q^{\varepsilon}, \tilde{\tilde{Y}}_q^n) \rightarrow \tilde{\tilde{R}}_q; (\tilde{\tilde{Y}}_q^n, \tilde{\tilde{A}}_q^{\varepsilon}) \rightarrow \tilde{\tilde{R}}_q^{-1}; \\ (\tilde{\tilde{A}}_{qj}^{\varepsilon}, \tilde{\tilde{Y}}_{qj}^n) &\rightarrow \tilde{\tilde{R}}_{qj}; (\tilde{\tilde{Y}}_{qj}^n, \tilde{\tilde{A}}_{qj}^{\varepsilon}) \rightarrow \tilde{\tilde{R}}_{qj}^{-1}; (a_{qjk}^{\varepsilon}, y_{qjk}^n) \rightarrow r_{qjk}; (y_{qjk}^n, a_{qjk}^{\varepsilon}) \rightarrow r_{qjk}^{-1}, \end{aligned} \quad (14)$$

де: $\tilde{\tilde{R}}_{\Sigma}$, $\tilde{\tilde{R}}_{\Sigma}^{-1}$ – нечіткі відношення, які визначають взаємозв'язок загальних вимог до властивостей лінії розкрою і загальних параметрів її конструкції; $\tilde{\tilde{R}}_q$, $\tilde{\tilde{R}}_q^{-1}$ – нечіткі відношення, які визначають співвідношення множини вимог до властивостей конструкції q -го ієрархічного рівня і множиною його параметрів; $\tilde{\tilde{R}}_{qj}$, $\tilde{\tilde{R}}_{qj}^{-1}$ – нечіткі відношення, які визначають співвідношення множини вимог до властивостей j -го функціонального елемента і множиною їх параметрів, які належать q -му ієрархічному рівні; r_{qjk} , r_{qjk}^{-1} – нечіткі відношення, які визначають співвідношення значення k -ої вимоги до властивостей j -го функціонального елемента і значенням k -го параметра j -го функціонального елемента, які належать q -му ієрархічному рівні. Нечіткі відношення $\tilde{\tilde{R}}_{\Sigma}$ і $\tilde{\tilde{R}}_{\Sigma}^{-1}$, $\tilde{\tilde{R}}_q$ і $\tilde{\tilde{R}}_q^{-1}$, $\tilde{\tilde{R}}_{qj}$ і $\tilde{\tilde{R}}_{qj}^{-1}$, r_{qjk} і r_{qjk}^{-1} , а також множини показників $\tilde{\tilde{Y}}_{\Sigma}^n$, $\tilde{\tilde{Y}}_q^n$, $\tilde{\tilde{Y}}_{qj}^n$ і y_{qjk}^n знаходять з умови (15).

4. *Задача багатокритеріальної оцінки якості отриманих показників проекрованої лінії розкрою.* За даними ТЗ потрібно розробити критерії оцінювання якості розв'язків усієї сукупності задач 1-3. Якість отриманих розв'язків здійснюється функціоналом, який будь-якій парі елементів множини ставить у відповідність число, яке дає змогу визначити, на якій відстані один від одного знаходяться ці елементи з огляду на деяке фундаментальне їх упорядкування:

$$\tilde{\tilde{v}}_{\Sigma}^{\Pi} = \left\{ \tilde{\tilde{v}}_q^{\Pi} = F_q^{\Pi}[\tilde{\tilde{\Phi}}_q^{\varepsilon}], q = \overline{1, Q_{\Sigma}^{\Pi}} \right\}. \quad (15)$$

Процедура розв'язання цієї задачі складається з двох етапів.

Етап 1. Побудова функціонала, який здійснює перетворення декартового добутку у n -вимірний числовий простір, записується у такому вигляді:

$$\zeta_n: \tilde{\tilde{W}}_A \times \tilde{\tilde{W}}_Y \rightarrow R_n,$$

де: R_n – n -вимірний числовий простір; $\tilde{\tilde{W}}_A$ – множина, однозначно визначена функціональним перетворенням множин $\tilde{\tilde{A}}_{\Sigma}^{\varepsilon}$ і $\tilde{\tilde{E}}_{\Sigma}^y$ та множини відповідних факторів ризику $\tilde{\tilde{\gamma}}_{\Sigma}^{\phi p}$ у штатній, позаштатній і критичній ситуаціях; $\tilde{\tilde{W}}_Y$ – множина, однозначно визначена функціональним перетворенням множин $\tilde{\tilde{Y}}_{\Sigma}^n$ і $\tilde{\tilde{E}}_{\Sigma}^y$ та множини відповідних факторів ризику $\tilde{\tilde{\gamma}}_{\Sigma}^{\phi p}$.

Етап 2. Знаходження таких розв'язків задач 1-3, для яких величина

$$R^* = \max_n R_n[\tilde{\tilde{W}}_Y],$$

прийнята за міру якості проекрованої лінії розкрою, була б мінімально можливою:

$$R^* = \tilde{R}_\Sigma; \tilde{R}_\Sigma = \min_{\tilde{Y}_\Sigma^n} R^* \left[\tilde{Y}_\Sigma^n \right]. \quad (16)$$

У розглянутих вище *задачах СФА ТП розкрою* присутні деякі особливості:

- *наявність прямого і зворотного зв'язків.* Для того, щоб виконати декомпозицію загальних вимог проектованої лінії розкрою, потрібно насамперед знати її ієрархічну структуру. Але, щоб побудувати таку структуру, треба знати вимоги до ієрархічного рівня лінії розкрою, а також до кожного з її функціональних елементів. Окрім цього, розв'язувати задачі (13) і (14) треба за умови мінімізації (16). Однак цю умову можна виконати тільки у випадку, якщо відомий розв'язок задачі (15). Водночас задачу (15) можна розв'язати, якщо відомі розв'язки задачі (13) і (14);
- *структурна невизначеність вхідних даних.* У задачі (11) відома тільки множина загальних вимог $\tilde{A}_\Sigma^e$ до лінії розкрою, проте невідомі вимоги до кожного устаткування та його елементів, тобто усі інші множини вимог і відповідні функціонали потрібно отримати у процесі її розв'язання. Так, у задачі (13) невідомі як величини $\tilde{Y}_\Sigma^n$, $\tilde{Y}_q^n$, $\tilde{Y}_{qj}^n$ і y_{qjk}^n , так і більшість функціоналів f_Σ^e , f_q^e , f_Σ^{-1} і f_q^{-1} ;
- *часткова або повністю неформалізованість процедур розв'язання деяких задач.* Зокрема, практично неможливо формалізувати процес формування множини альтернативних варіантів проектних рішень на кожному ієрархічному рівні лінії розкрою. Здебільшого можна формалізувати тільки процедуру вибору кращої альтернативи з огляду на певний критерій її якості із заданої множини допустимих варіантів.

Зазначені особливості свідчать про значні труднощі, які виникають під час розв'язання задач СФА ТП розкрою. При цьому варто враховувати також і те, що співвідношення (11)-(16) дають тільки формалізований математичний опис відповідних задач, а на їхній основі, як відомо, неможливо безпосередньо організувати обчислювальний процес.

Продовження далі.

Висновки

1. Наведено змістовну постановку загальної задачі системного аналізу ТП розкрою, складна ієрархічна структура якого вимагає багаторівневого та неодноразового процесу формування та прийняття рішень, складається з послідовної реалізації задачі СФА ТП розкрою, задачі аналізу управління процесом його функціонування та задачі техніко-економічного аналізу. З'ясовано, що задача СФА ТП розкрою належить до класу задач організованої складності, оскільки описує такі властивості об'єктів як ієрархічність, супідрядність, адаптивність, стійкість, керованість тощо. Методологічні підходи до її розв'язання розвиваються завдяки широкому застосуванню евристичних прийомів і методів створення інтелектуальних засобів підтримки рішень на основі систематизації, узагальнення та нагромадження знань і досвіду дослідників з різних галузей науки і техніки.

2. Адаптовано методику формалізації задачі СФА складних ієрархічних систем до задачі СФА ТП розкрою ПДМ, основне завдання якої полягає у його зведенні до певної ієрархічної структури, що дає змогу істотно спростити процес її розв'язання як на етапі проектування, так і на етапі експериментального випробування. Виявлено, що основним недоліком структурування ТП розкрою є складність створення такої його ієрархічної структури і такого формалізованого опису, за якими будь-які два альтернативні варіанти його проектних рішень незалежно від того, якими способами і прийомами їх отримано, можна було б точно, всебічно та об'єктивно порівняти між собою.

Література

1. **Абрамов Л. М.** Алгоритм решения задачи об оптимальном планировании оборудования / Л. М. Абрамов, В. П. Голова, К. А. Горькова // Прим. матем. методов в экономике. – Л. : Изд-во ЛГУ. – 1967. – Вып. 4. – С. 10-20.
2. **Батін І. В.** Основи теорії і розрахунку автоматичних ліній лісопромислових підприємств / І. В. Батін, Д. Л. Дудюк. – М. : Ліс. пром-сть, 1975. – 176 с.
3. **Булатова Е. Б.** Почему "Грация"? / Е. Б. Булатова, В. Г. Ещенко // В мире оборудования. – 2002. – № 3. – С. 12-13.
4. **Грицюк Ю. І.** Оптимізація технологічного процесу розкрою плитних деревних матеріалів на меблевій заготовці : монографія. – Львів : Вид. дім "Панорама", 2004. – 484 с.
5. **Дудюк Д. Л.** Эффективные параметры и компоновка технологических линий производства и обработки круглых лесоматериалов : дисс. на соискание ученой степени д-ра техн. наук : спец. 05.21.01 – технология и оборудование деревообрабатывающих производств, лесовоспроизводство. – М. : МЛТИ. – 1990. – 305 с.
6. **Дудюк Д. Л.** Елементи теорії автоматичних ліній : навч. посібник / Д. Л. Дудюк, Л. Д. Загвайська, В. М. Максимів, Л. Я. Сорока. – Київ-Львів : ІМЗН, 1998. – 192 с.
7. **Дудюк Д. Л.** Дослідження об'єктів і систем керування : навч. посібник / Дудюк Д. Л., Максимів В. М., Сорока Л. Я. – К. : ІЗМН, 1998. – 248 с.
8. **Дудюк Д. Л.** Імітаційне моделювання гнучких автоматизованих ліній у лісовиробничому комплексі : навч. посібник / Дудюк Д. Л., Максимів В. М., Сорока Л. Я. – К. : ІСДО, 1996. – 140 с.
9. **Дудюк Д. Л.** Моделювання та оптимізація технологічних потоків лісопереробки : навч. посібник / Дудюк Д. Л., Максимів В. М., Сорока Л. Я. – К. : ІСДО, 1995. – 418 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. : ІЗМН, 1998. – 248 с.
11. **Згуровський М. З.** Основи системного аналізу / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова. – К. : Вид-ча гр. ВНУ, 2007. – 544 с.
12. **Максимів В. М.** Методи обґрунтування ефективних варіантів ліній меблевого виробництва : дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.05.07. – Львів : УкрДЛТУ. – 1999. – 380 с.
13. **Межов И. С.** Основы повышения объемного и спецификационного выхода заготовок при раскрое бревен брусом-сегментным способом на специализированном оборудовании : автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра техн. наук. – Санкт-Петербург, 1994. – 33 с.
14. **McKenzie L.** Turnpike theory // Econometrics. – 1976. – Vol. 44. – N 5. – 439.
15. **Деревообрабатывающее оборудование** : каталог. – М. : ВНИИПИЭНлеспром. – 1991. – Т. 1. – 204 с.
16. **Карасев Е. И.** Оборудование предприятий по производству древесных плит. – М. : Лесн. пром-сть, 1989. – 350 с.
17. **Примеры** новейших угловых установок с двумя и несколькими пилами с прижимной балкой для раскроя мелких, средних и крупных партий плит / Лесдревмаш. Машины, оборудование и приборы межвыставочный выпуск. – Штутгарт, ФРГ : НК international, Holz-Zentralblatt. – 1997. – С. 24-33.