

# МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 338.2; 621.914.22

**Костянтин ЗЕЛЕНСЬКИЙ; Ігор ЛУЦІВ**

**Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя, Тернопіль, Україна**

## **ОБЧИСЛЕННЯ МНОЖИН КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНИХ СТРУКТУР ОБ'ЄКТІВ МЕТОДОМ МАТРИЧНИХ ДІАГОНАЛЕЙ**

***Резюме.** Запропоновано методологію обчислення множин конкурентоспроможних структур об'єктів на прикладі матричного структурно-схемного синтезу збірних торцевих фрез. На першому етапі одновимірного (лінійного) структурно-схемного синтезу обрано початкову множину конкурентоспроможних структурних схем фрез, які позначено відповідними елементами матриць-стрічок та транспонованих до них матриць-стовпців. На другому та третьому етапах, відповідно, двовимірного (площинного) та тривимірного (об'ємного) структурно-схемного синтезу для побудови множин нових конкурентоспроможних структур об'єктів застосовано дію добутку елементів матриць попередніх етапів синтезу на елементи матриці-стрічки першого етапу (лінійного) структурно-схемного синтезу. Запропоновано методологію матричних діагоналей для побудови матриць та залежностей для обчислення множин конкурентоспроможних структур об'єктів усіх трьох етапів синтезу. Наведено приклад побудови та обчислення множин конкурентоспроможних структур об'єктів на базі восьмиелементного матричного структурно-схемного синтезу.*

***Ключові слова:** об'єкт, конкурентоспроможний, структурно-схемний синтез, етап, матриця.*

**Kostyantyn ZELENSKYI; Ihor LUTSIV**

**Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, Ukraine**

## **CALCULATING THE SETS OF COMPETITIVE STRUCTURES OF OBJECTS BY MATRIX DIAGONALS METHOD**

***Summary.** A methodology for constructing matrices and calculating the sets of competitive structural schemes of objects is proposed, as an example of structural-schemes synthesis of sectional cutters with elastic-damping elements. At the first stage of one-dimensional (linear structural-scheme synthesis, the initial set of competitive structural schemes of sectional cutters is selected, which is indicated by the corresponding elements of the matrices-tapes and transposed to them matrices-columns. At the second and third stages, respectively, two-dimensional (plane) and three-dimensional (volume) of structural-scheme synthesis for the construction of new competitive structural schemes of objects (sectional cutters), the multiplication effect of the elements of the matrices of the previous stages of synthesis on the elements of matrices-tapes of the first stage (linear) of structural-scheme synthesis is used. In the action of multiplying the elements of the matrices, it is invested the content of the association one with another structural schemes - the elements of the corresponding matrices. The analysis of sets of all synthesized structural schemes at each stage of synthesis is carried out. The methodology of matrix diagonals for constructing matrices with sets of competitive structural schemes is proposed. Dependences are constructed for calculating the sets of competitive structural schemes of objects (sectional cutters). An example of matrix designing of sets of competitive structural schemes of objects on the basis of eight-element structural-*

scheme synthesis is given. The following stages of synthesis broaden the overall set and variety of constructs of competitive structural schemes of objects.

**Key words:** object, competitive, structural-scheme synthesis, stage, matrix.

**Постановка проблеми.** В машинобудівній, гірничодобувній промисловості, в багатьох галузях народного господарства велика кількість верстатного і технологічного обладнання працює під дією змінних (перервних, ударних) навантажень. Такі умови роботи є причиною передчасної втрати конструктивних і технологічних характеристик обладнання, виходу з ладу та зношування його головних і приводних вузлів, зношування та руйнування обробляючого інструменту, виникнення браку продукції. Відповідно, підприємства змушені витратити додаткові кошти на ремонт або заміну обладнання, заміну обробляючого інструменту, нести втрати, пов'язані із браком продукції.

Зменшити негативний вплив від дії змінних навантажень вдається шляхом введення в приводні системи машин пружних з'єднувальних муфт або пружно-демпферних елементів безпосередньо в конструкцію обробляючого інструменту [1, 3, 12]. Нові конструкції вузлів машин і обробляючого інструменту, які підвищують довговічність роботи обладнання та інструменту й покращують ефективність процесу обробки, можуть вважатися конкурентоспроможними [12] в порівнянні з аналогами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розглянемо високодинамічний процес обробки металів різанням – торцеве фрезерування, яке характеризується змінністю сил різання, супроводжується високим рівнем шуму і вібрацій. Такі явища зменшують довговічність елементів приводів верстата й оснащення [1], є причиною підвищеного зношування й крихкого руйнування різальних елементів збірних торцевих фрез (ЗТФ) [3], погіршують якість і точність обробки. Зменшення рівня динамічних навантажень при торцевому фрезеруванні досягається зменшенням моменту інерції обертових мас привода, жорстко зв'язаних із різцем ЗТФ [1, 3], збільшенням податливих і демпферних характеристик як пружних з'єднувальних муфт [1] у приводі, так і пружно-демпферних елементів (ПДЕ), додатково введених у конструкцію ЗТФ [2 – 4].

Включення ПДЕ безпосередньо в конструкцію фрези [1 – 12] є інноваційним конструктивним рішенням, яке за самою ідеєю є конкурентоспроможним у порівнянні із застосуванням жорсткої (ГОСТованої) конструкції ЗТФ.

Методологію формулювання матричного структурно-схемного синтезу конкурентоспроможних структурних схем ЗТФ з ПДЕ розглянуто в [4, 12]. Уся множина побудованих структурних схем ЗТФ містить множину структурних схем, які повторюються. Тому на кожному з етапів синтезу для проєктанта важливо вчасно відібрати новоутворені конкурентоспроможні структурні схеми, які не повторюють одна одну й можуть бути використані для наступних етапів проєктування.

**Метою статті** є розроблення методології визначення та обчислення множин конкурентоспроможних структур об'єктів на прикладі матричного структурно-схемного синтезу збірних торцевих фрез з пружно-демпферними елементами.

**Виклад основного матеріалу.** На першому етапі структурно-схемного синтезу ЗТФ з ПДЕ [4, 12] побудовано структурні схеми (СС) ЗТФ, геометрична інтерпретація яких показана у таблицях 1 – 3.

Буквені позначення нових конкурентоспроможних СС ЗТФ згруповано за принципами побудови [12] у відповідні матриці-стрічки

$$A = \parallel a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 \parallel \text{ (таблиця 1);} \quad (1)$$

$$B = \parallel b_1 b_2 b_3 b_4 \parallel \text{ (таблиця 2);} \quad (2)$$

$$C = \parallel c_1 c_2 c_3 \parallel; D = \parallel d_1 d_2 \parallel \text{ (таблиця 3).} \quad (3)$$

Побудовані в [12] СС (табл. 1 – 3) описують конструкції майбутніх ЗТФ, які відрізняються між собою, є неповторними і не подібні на аналоги. Такі конструкції ЗТФ вважатимемо конкурентоспроможними в порівнянні з аналогами (конкурентоспроможність між синтезованими СС (елементами матриць А, В, С, D) у даному дослідженні не розглянуто).

Об'єднаємо елементи матриць-стрічок А, В, С, D (1 – 3) і розташуємо послідовно в одну лінію – в матрицю-стрічку [S<sub>л</sub>]

$$[S_{л}] = \parallel A B C D \parallel. \quad (4)$$

Даний етап синтезу назвемо **лінійним** (позначимо S<sub>л</sub>) або **одновимірним** (позначимо S<sub>1</sub>) **структурно-схемним синтезом** ЗТФ.

Транспоновані до матриць А, В, С, D (1 – 3), [S<sub>л</sub>] (4) матриці А<sup>Т</sup>, В<sup>Т</sup>, С<sup>Т</sup>, D<sup>Т</sup>, [S<sub>л</sub>]<sup>Т</sup> будуть матрицями-стовпчиками

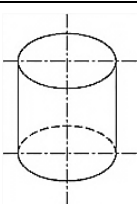
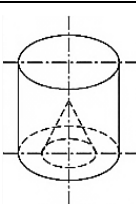
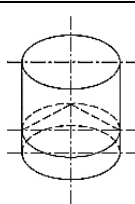
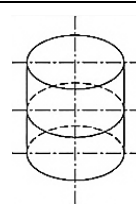
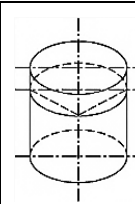
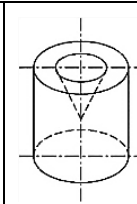
$$A^T = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{pmatrix}; \quad B^T = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{pmatrix}; \quad C^T = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix}; \quad D^T = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix}; \quad [S_{л}]^T = \begin{pmatrix} A^T \\ B^T \\ C^T \\ D^T \end{pmatrix} \quad (5)$$

Таблиця 1

Об'ємне зображення СС ЗТФ матриці А

Table 1

Three-dimensional image of the structural schemes of sectional cutters of the matrix A

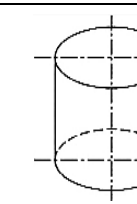
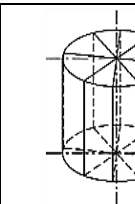
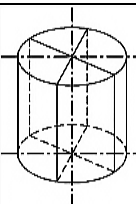
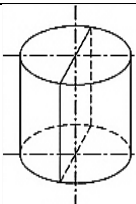
1	Об'ємне зображення СС ЗТФ						
2	Позначення	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>

Таблиця 2

Об'ємне зображення СС ЗТФ матриці В

Table 2

Three-dimensional image of the structural schemes of sectional cutters of the matrix B

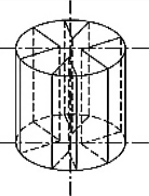
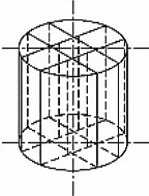
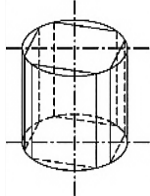
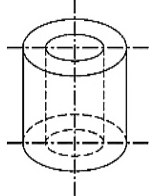
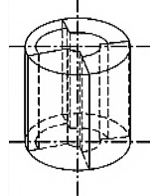
1	Об'ємне зображення СС ЗТФ				
2	Позначення	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>

Таблиця 3

Об'ємне зображення СС ЗТФ матриць С та D

Table 3

Three-dimensional image of the structural schemes of sectional cutters of the matrix C and D

1	Об'ємне зображення СС ЗТФ					
2	Позначення	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>

Матриця-стовпчик  $[S_{л}]^T$  (5) також описує лінійний структурно-схемний синтез (ССС) ЗТФ, оскільки складається з тих же елементів, що й матриця  $[S_{л}]$  (4), тільки розташованих вертикально у стовпчик. Множину всіх конкурентоспроможних СС лінійного (одновимірного) ССС ЗТФ (позначимо  $N_{S_{лК}}$ ) обчислюємо сумою всіх елементів матриці  $[S_{л}]$  (4)

$$N_{S_{лК}} = \sum_{i=a_1}^{d_2} s_i = \sum_{i=1}^{S_1} s_i = S_1, \quad (6)$$

де  $i$  – змінна порядкового номера  $s_i$ -го елемента матриці  $[S_{л}]$  (4) (від 1-го елемента –  $i_1 = a_1$  матриці A (1) до 15-го елемента –  $i_{15} = d_2$  матриці D (3));  $S_1$  – кількість елементів матриці одновимірного ССС  $[S_{л}]$  (4) ( $S_1 = 15$ ).

**На другому етапі ССС** розвинемо методологію побудови СС ЗТФ [4, 12]. Для цього перемножимо між собою матриці  $[S_{л}]^T$  (5) і  $[S_{л}]$  (4), вклавши в цю математичну дію фізичний зміст накладання СС однієї матриці на СС другої матриці. В результаті отримаємо квадратну матрицю нових СС, яка описує **площинний** (позначимо –  $S_{п}$ ) або **двовимірний** ( $S_2$ ) ССС ЗТФ

$$[S_{п}] = [S_{л}]^T \cdot [S_{л}] = \begin{pmatrix} A^T \cdot A & A^T \cdot B & A^T \cdot C & A^T \cdot D \\ B^T \cdot A & B^T \cdot B & B^T \cdot C & B^T \cdot D \\ C^T \cdot A & C^T \cdot B & C^T \cdot C & C^T \cdot D \\ D^T \cdot A & D^T \cdot B & D^T \cdot C & D^T \cdot D \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} a_1a_1 & a_1a_2 & \dots & a_1a_6 & a_1b_1 & \dots & a_1b_4 & a_1c_1 & \dots & a_1c_3 & a_1d_1 & a_1d_2 \\ a_2a_1 & a_2a_2 & \dots & a_2a_6 & a_2b_1 & \dots & a_2b_4 & a_2c_1 & \dots & a_2c_3 & a_2d_1 & a_2d_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_6a_1 & a_6a_2 & \dots & a_6a_6 & a_6b_1 & \dots & a_6b_4 & a_6c_1 & \dots & a_6c_3 & a_6d_1 & a_6d_2 \\ b_1a_1 & b_1a_2 & \dots & b_1a_6 & b_1b_1 & \dots & b_1b_4 & b_1c_1 & \dots & b_1c_3 & b_1d_1 & b_1d_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_4a_1 & b_4a_2 & \dots & b_4a_6 & b_4b_1 & \dots & b_4b_4 & b_4c_1 & \dots & b_4c_3 & b_4d_1 & b_4d_2 \\ c_1a_1 & c_1a_2 & \dots & c_1a_6 & c_1b_1 & \dots & c_1b_4 & c_1c_1 & \dots & c_1c_3 & c_1d_1 & c_1d_2 \\ c_2a_1 & c_2a_2 & \dots & c_2a_6 & c_2b_1 & \dots & c_2b_4 & c_2c_1 & \dots & c_2c_3 & c_2d_1 & c_2d_2 \\ c_3a_1 & c_3a_2 & \dots & c_3a_6 & c_3b_1 & \dots & c_3b_4 & c_3c_1 & \dots & c_3c_3 & c_3d_1 & c_3d_2 \\ d_1a_1 & d_1a_2 & \dots & d_1a_6 & d_1b_1 & \dots & d_1b_4 & d_1c_1 & \dots & d_1c_3 & d_1d_1 & d_1d_2 \\ d_2a_1 & d_2a_2 & \dots & d_2a_6 & d_2b_1 & \dots & d_2b_4 & d_2c_1 & \dots & d_2c_3 & d_2d_1 & d_2d_2 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Кожна СС матриці  $[S_{\Pi}]$  (7) тепер має двобуквене позначення й поєднує в собі властивості від обох СС матриць  $[S_{\Pi}]^T$  (5) і  $[S_{\Pi}]$  (4), в результаті накладання яких вона утворилася. З матриці (7) бачимо, що позначення букв у елементів головної діагоналі повторюються ( $a_1a_1, a_2a_2, \dots, d_2d_2$ ). Це означає, що на СС першої матриці  $[S_{\Pi}]^T$  (5) накладалася така ж СС другої матриці  $[S_{\Pi}]$  (4). Відповідно, елементи головної діагоналі матриці (7), і відповідні їм СС, копіюють елементи та відповідні СС матриці лінійного ССС  $[S_{\Pi}]$  (4). Тому такі СС будемо вважати неконкурентоспроможними, як такі, що повторюють СС попереднього етапу ССС.

З матриці (7) також бачимо, що всі елементи, які розташовані вище головної діагоналі в своїх буквених позначеннях, симетрично віддзеркалюють позначення всіх елементів матриці (7), розташованих нижче головної діагоналі (наприклад, позначення елементів 1-го рядка  $a_1a_2, \dots, a_1d_2$  є дзеркально симетричними відносно головної діагоналі матриці (7) позначенням елементів 1-го стовпця, відповідно  $a_2a_1, \dots, d_2a_1$ ). Це означає, що СС, які розташовані вище головної діагоналі матриці (7), дзеркально копіюють СС, розташовані нижче головної діагоналі матриці (7). Тому їх (усі, що розташовані вище головної діагоналі матриці (7)) також віднесемо до множини неконкурентоспроможних СС і вилучимо із множини СС для наступних етапів синтезу.

Конкурентоспроможними СС у матриці площинного ССС  $[S_{\Pi}]$  (7) вважатимемо всі СС, розташовані нижче головної діагоналі матриці (7). Для інтерпретації множини конкурентоспроможних СС з числа всіх СС, синтезованих матрицею (7), введемо додаткові позначення. Всі неконкурентоспроможні СС матриці (7) – елементи головної і вище головної діагоналі позначимо цифрою «0» (для цифрового вигляду) або прозорими одиничними кубиками (для геометричного вигляду). Решта елементів матриці (7) – новоутворені, відмінні між собою, конкурентоспроможні СС, які розташовуються нижче головної діагоналі, позначимо цифрою «1» (цифровий вигляд) або непрозорими одиничними кубиками (геометричний вигляд). Матрицю, яка ілюструє множини конкурентоспроможних СС площинного (двовимірного) ССС у цифровому та геометричному вигляді (з матриці (7)) назовемо матрицею конкурентоспроможних СС і позначимо –  $S_{2K}$

$$S_{2K} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} = \text{геометрична ілюстрація} \quad (8)$$

Геометрична ілюстрація деяких конкурентоспроможних СС з матриці  $S_{2K}$  (кубики позначені темнішим кольором у (8)) та відповідні їм буквених позначення (матриця  $[S_{\Pi}]$  (7)) наведена в таблиці 4.

У побудованих СС (табл. 4) деякі поверхні та перерізи частково видозмінені, не всі новоутворені елементи СС повністю розрізані. Показано, що в рамках одного

буквеного позначення побудованої СС можна розвинути комбінаторне поєднання елементів СС з отриманням нових конструктивних параметрів та характеристик ЗТФ – так званий комбінаторний внутрішній синтез СС ЗТФ (в даній статті далі не розвивається).

Обчислимо кількість конкурентоспроможних СС, побудованих площинним ССС – [S<sub>П</sub>] (7) (елементів матриці S<sub>2К</sub> (8)).

Матриця (7) є квадратна. Кількість елементів в рядку матриці (7) дорівнює кількості елементів матриці [S<sub>Л</sub>] (4), тобто S<sub>1</sub> = 15. Загальну кількість конкурентоспроможних СС, побудованих площинним (двовимірним) ССС, позначимо – N<sub>S<sub>2К</sub></sub> і визначимо як різницю між загальною кількістю елементів матриці [S<sub>П</sub>] (7) (S<sub>П</sub> = S<sub>2</sub> = S<sub>1</sub> · S<sub>1</sub>) і всіх елементів головної діагоналі матриці (7) (їх число дорівнює S<sub>1</sub>), розділеної навпіл (виключаються всі елементи вище головної діагоналі матриці (7))

$$N_{S_{2K}} = \frac{S_1 \cdot S_1 - S_1}{2} = \frac{S_1^2 - S_1}{2}. \quad (9)$$

Множину N<sub>S<sub>2К</sub></sub> можна ще обчислити як суму всіх стовпцевих сум [4] елементів матриці конкурентоспроможних СС S<sub>2К</sub> (8), позначених цифрою «1» (непрозорими одиничними кубиками (8))

$$N_{S_{2K}} = \sum_{j=1}^{S_1} (S_1 - j), \quad (10)$$

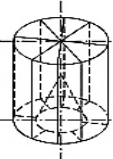
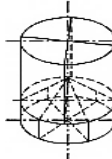
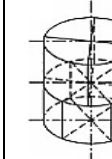
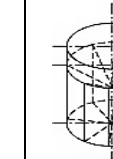
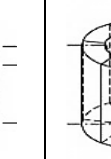
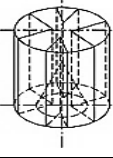
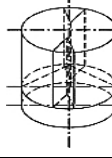
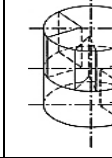
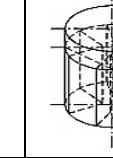
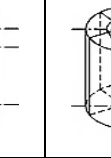
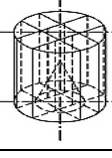
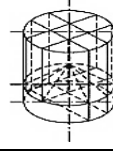
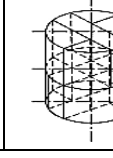
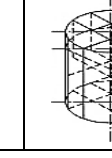
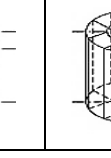
де j = 1, ... S<sub>1</sub> – порядковий номер стовпця матриці S<sub>2К</sub> (8), зліва на право.

Таблица 4

Конкурентоспроможні СС площинного ССС ЗТФ

Table 4

Competitive structural schemes of plane structural-scheme synthesis of sectional cutters

1.1	Об'ємне зображення СС ЗТФ					
1.2	Позначення	b <sub>2a2</sub>	b <sub>2a3</sub>	b <sub>2a4</sub>	b <sub>2a5</sub>	b <sub>2a6</sub>
2.1	Об'ємне зображення СС ЗТФ					
2.2	Позначення	c <sub>1a2</sub>	c <sub>1a3</sub>	c <sub>1a4</sub>	c <sub>1a5</sub>	c <sub>1a6</sub>
3.1	Об'ємне зображення СС ЗТФ					

3.2	Позначення	c <sub>2a2</sub>	c <sub>2a3</sub>	c <sub>2a4</sub>	c <sub>2a5</sub>	c <sub>2a6</sub>
4.1	Об'ємне зображення СС ЗТФ					
4.2	Позначення	c <sub>3a2</sub>	c <sub>3a3</sub>	c <sub>3a4</sub>	c <sub>3a5</sub>	c <sub>3a6</sub>
5.1	Об'ємне зображення СС ЗТФ					
5.2	Позначення	d <sub>1a2</sub>	d <sub>1a3</sub>	d <sub>1a4</sub>	d <sub>1a5</sub>	d <sub>1a6</sub>
6.1	Об'ємне зображення СС ЗТФ					
6.2	Позначення	d <sub>2a2</sub>	d <sub>2a3</sub>	d <sub>2a4</sub>	d <sub>2a5</sub>	d <sub>2a6</sub>

**На 3-у етапі ССС** продовжимо будувати нові СС ЗТФ. Для цього перемножимо матрицю попереднього етапу – площинного ССС [S<sub>П</sub>] (7) на матрицю лінійного ССС [S<sub>Л</sub>] (4) з фізичним змістом накладання СС матриці [S<sub>Л</sub>] (4) на кожен СС матриці [S<sub>П</sub>] (7). У результаті отримаємо S<sub>1</sub> квадратних матриць з трибуквеним позначенням усіх новоутворених СС. Об'єднання S<sub>1</sub> квадратних матриць буде кубічну матрицю **об'ємного** – S<sub>0</sub> або **тривимірною (S<sub>3</sub>) структурно-схемною синтезу ЗТФ**.

Для спрощення алгебраїчного вигляду матриці [S<sub>0</sub>] використаємо поєднання алгебраїчного і цифрового вигляду матриці площинного ССС (в матриці S<sub>2К</sub> (8) на місцях цифр «1» збережемо буквені позначення конкурентоспроможних СС, а цифри «0» залишимо):

$$[S_0] = [S_{2K}] \cdot [S_L] = \left\{ \begin{array}{c} \left\| \begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_2 a_1 a_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_3 a_1 a_1 & a_3 a_2 a_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ d_1 a_1 a_1 & d_1 a_2 a_1 & d_1 a_3 a_1 & \dots & 0 & 0 \\ d_2 a_1 a_1 & d_2 a_2 a_1 & d_2 a_3 a_1 & \dots & d_2 d_1 a_1 & 0 \end{array} \right\|_{|1|} ; \left\| \begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_2 a_1 a_2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_3 a_1 a_2 & a_3 a_2 a_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ d_1 a_1 a_2 & d_1 a_2 a_2 & d_1 a_3 a_2 & \dots & 0 & 0 \\ d_2 a_1 a_2 & d_2 a_2 a_2 & d_2 a_3 a_2 & \dots & d_2 d_1 a_2 & 0 \end{array} \right\|_{|2|} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \left\| \begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_2 a_1 a_3 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_3 a_1 a_3 & a_3 a_2 a_3 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ d_1 a_1 a_3 & d_1 a_2 a_3 & d_1 a_3 a_3 & \dots & 0 & 0 \\ d_2 a_1 a_3 & d_2 a_2 a_3 & d_2 a_3 a_3 & \dots & d_2 d_1 a_3 & 0 \end{array} \right\|_{|3|} ; \dots ; \left\| \begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_2 a_1 d_2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_3 a_1 d_2 & a_3 a_2 d_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ d_1 a_1 d_2 & d_1 a_2 d_2 & d_1 a_3 d_2 & \dots & 0 & 0 \\ d_2 a_1 d_2 & d_2 a_2 d_2 & d_2 a_3 d_2 & \dots & d_2 d_1 d_2 & 0 \end{array} \right\|_{|15|} \right\}. \quad 11$$

Матриця об'ємного CCC  $[S_0]$  (11) складається із 15-и квадратних матриць (в (11) кожна квадратна матриця позначена номером зліва внизу), подібних до матриці  $[S_{II}]$  (7). При геометричній інтерпретації матриці  $[S_0]$  (11) кожна її квадратна матриця, яка складається із одиничних кубиків (типу  $S_{2K}$  (8)) розташовується перед попередньою квадратною матрицею. Об'єднання всіх 15-и квадратних матриць формують фігуру куб – кубічну матрицю  $[S_0]$  15-елементного CCC –  $S_1$ .

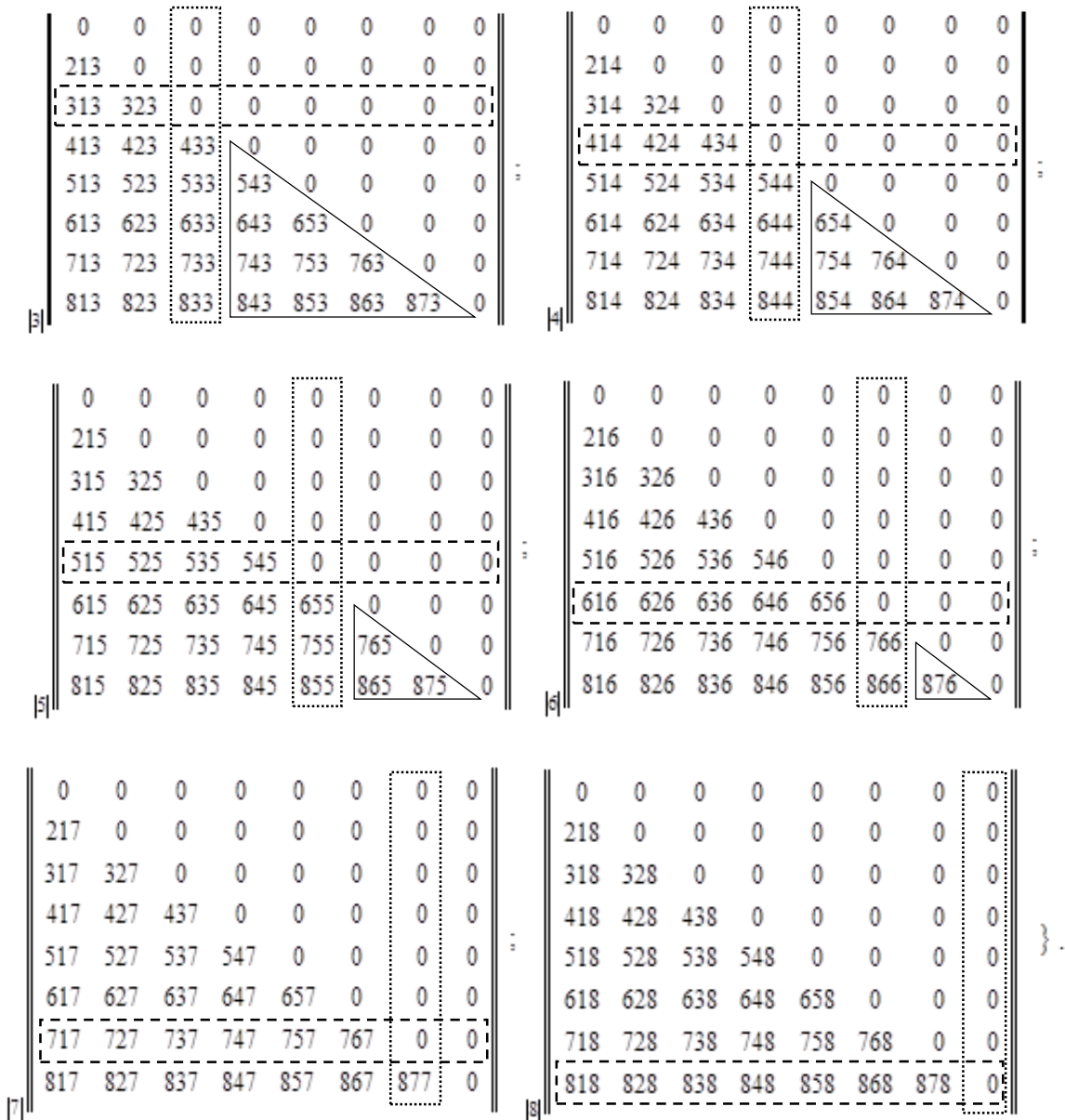
Для спрощення аналізу матриці об'ємного CCC зменшимо множину елементів матриці лінійного CCC з 15-и до 8-и. Позначимо таку 8-и елементну матрицю одновимірного CCC –  $S_1^{(8)}$ . Для позначення елементів матриці  $S_1^{(8)}$  (для спрощення) використаємо цифри від 1-го до 8-и. Тоді матриця конкурентоспроможних CC двовимірного CCC  $S_{2K}^{(8)}$  матиме вигляд

$$S_{2K}^{(8)} = S_1^{T(8)} \cdot S_1^{(8)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 21 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 31 & 32 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 41 & 42 & 43 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 51 & 52 & 53 & 54 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 61 & 62 & 63 & 64 & 65 & 0 & 0 & 0 \\ 71 & 72 & 73 & 74 & 75 & 76 & 0 & 0 \\ 81 & 82 & 83 & 84 & 85 & 86 & 87 & 0 \end{pmatrix} \quad (12)$$

Матриця тривимірного (об'ємного) CCC –  $S_3^{(8)}$  об'єднуватиме 8-м квадратних матриць і матиме вигляд

$$S_3^{(8)} = S_{2K}^{(8)} \cdot S_1^{(8)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 211 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 311 & 321 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 411 & 421 & 431 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 511 & 521 & 531 & 541 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 611 & 621 & 631 & 641 & 651 & 0 & 0 & 0 \\ 711 & 721 & 731 & 741 & 751 & 761 & 0 & 0 \\ 811 & 821 & 831 & 841 & 851 & 861 & 871 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 212 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 312 & 322 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 412 & 422 & 432 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 512 & 522 & 532 & 542 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 612 & 622 & 632 & 642 & 652 & 0 & 0 & 0 \\ 712 & 722 & 732 & 742 & 752 & 762 & 0 & 0 \\ 812 & 822 & 832 & 842 & 852 & 862 & 872 & 0 \end{pmatrix} \quad (13)$$

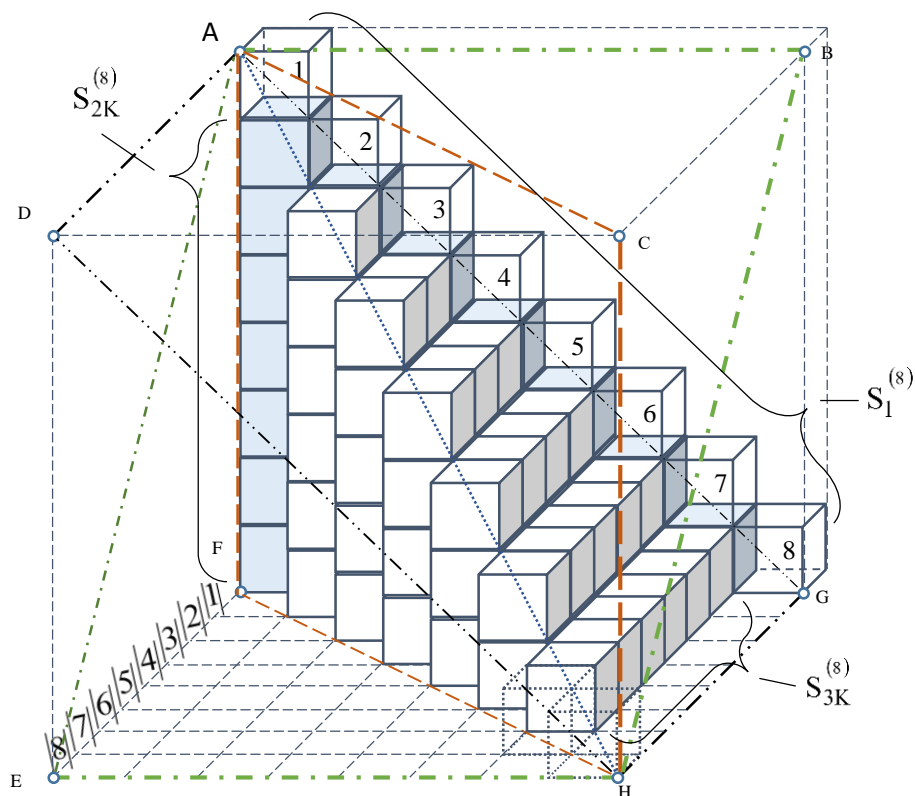




У 8-и квадратних матрицях матриці  $S_3^{(8)}$  (13) цифрою «0» позначено елементи головної діагоналі та всі вище головної діагоналі як такі, що повторюють елементи нижче головної діагоналі та елементи матриць попередніх етапів ССС. Об'єднання всіх елементів головних діагоналей 8-и квадратних матриць (позначених цифрою «0») формують головну (назвемо – **першу**) **діагональну площину** кубічної матриці  $S_3^{(8)}$  (13). На рис. 1 перша (головна) діагональна площина матриці позначена площиною AGHD. Одиничні кубики елементів першої діагональної площини (в геометричній інтерпретації) є прозорими або «нульовими», тому на рис. 1 їх не показано.

У кожній з 8-и квадратних матриць матриці  $S_3^{(8)}$  (13) вертикальними прямокутниками з дрібною пунктирною контурною лінією позначено стовпці з елементами, які в своєму позначенні мають сусіднє подвійне повторення позначень СС лінійного ССС –  $S_1^{(8)}$ , від об'єднання яких вони утворилися (елементи: «211», «311»,... «811» квадратної матриці  $|1|$ ; «322», «422», ... «822» квадратної матриці  $|2|$ ; ... «877»

квадратної матриці  $|7|$ ) і які, відповідно, повторюють усі елементи (СС) матриці  $S_{2K}^{(8)}$  (12). Такі елементи матриці  $S_3^{(8)}$  (13) вважатимемо неконкурентоспроможними, їх надалі можна буде позначити цифрою «0». Об'єднання стовпців таких елементів усіх 8-и квадратних матриць формують **другу діагональну площину** матриці  $S_3^{(8)}$  (13), яку на рис. 1 позначимо площиною АСНФ. Одиничні кубики всіх елементів другої діагональної площини є прозорими («нульовими»), тому на рис. 1 їх також не показано.



**Рисунок 1.** Множини конкурентоспроможних структурних схем трьох етапів матричного структурно-схемного синтезу

**Figure 1.** A sets of competitive structural schemes of the three stages of matrix structural-scheme synthesis

Продовжимо аналізувати матрицю  $S_3^{(8)}$  (13). У кожній з 8-и її квадратних матриць горизонтальними прямокутниками з пунктирною контурною лінією позначено стрічки з елементами, які в своєму позначенні мають дзеркальне відносно середини подвійне повторення позначень СС лінійного ССС –  $S_1^{(8)}$ , від об'єднання яких вони утворилися (елементи: «212» квадратної матриці  $|2|$ ; «313», «323» квадратної матриці  $|3|$ ; ... «818», «828»,... «878» квадратної матриці  $|8|$ ) і які також, відповідно, повторюють усі елементи

(СС) матриці  $S_{2K}^{(8)}$  (12). Такі елементи (об'єднані горизонтальними прямокутниками з пунктирною контурною лінією матриці  $S_3^{(8)}$  (13)) також віднесемо до множини неконкурентоспроможних і, надалі, позначимо цифрою «0». Об'єднання стрічок таких елементів усіх 8-и квадратних матриць формують **третю діагональну площину** матриці  $S_3^{(8)}$  (13), яку на рис. 1 позначено площиною АВНЕ. Одиничні кубики всіх елементів третьої діагональної площини (в геометричній інтерпретації) також позначимо прозорими («нульовими») і на рис. 1, відповідно, їх не показано.

Продовжимо аналізувати решту елементів матриці  $S_3^{(8)}$  (13). Виділені прямокутниками стовпці й стрічки у квадратних матрицях розділяють решту елементів матриць по 4-х квадрантах. Згруповані у трикутники елементи 3-іх квадрантів (квадранти позначені від лівого верхнього кута за годинниковою стрілкою) перших 6-и квадратних матриць обернено дзеркально повторюють у своїх позначеннях ті ж цифри, що й елементи 1-их квадрантів  $|3| - |8|$ -ї квадратних матриць та обернено віддзеркалюють дві останні цифри у позначеннях елементів 4-их квадрантів  $|2| - |7|$ -ї квадратних матриць. Констатуємо, що елементи 1-го, 3-го та 4-го квадрантів квадратних матриць матриці  $S_3^{(8)}$  (13) повторюють одні одних. Тому приймемо, що лише третина із множини всіх елементів, що залишилися, розташованих у квадрантах квадратних матриць матриці  $S_3^{(8)}$  (13) є конкурентоспроможними. Така множина складатиметься лише із елементів 3-іх квадрантів квадратних матриць. Дані елементи матриці  $S_3^{(8)}$  (13) об'єднаємо у трикутники. Всю решту множини елементів (1-х і 4-х квадрантів) приймемо неконкурентоспроможними й надалі позначатимемо цифрою «0».

На рис. 1 геометрично інтерпретовані елементи 1-их квадрантів квадратних матриць матриці  $S_3^{(8)}$  (13) об'єднуються у трикутну піраміду АНED і позначені прозорими одиничними кубиками (тому на рис. 1 не показано). Елементи 4-их квадрантів квадратних матриць об'єднуються у трикутну піраміду АНEF (рис. 1), також позначені прозорими одиничними кубиками (на рис. 1 не показано). Елементи 3-іх квадрантів квадратних матриць об'єднуються у трикутну піраміду АGHF (рис. 1) і позначені непрозорими одиничними кубиками.

Саме множина елементів 3-іх квадрантів квадратних матриць матриці  $S_3^{(8)}$  (13) (геометрично інтерпретована пірамідою АGHF (рис. 1)) описують матрицю конкурентоспроможних СС об'ємного (тривимірного) 8-и елементного ССС (позначимо –  $S_{3K}^{(8)}$ ), які можуть бути використані на наступних етапах проектування.

$$S_{3K}^{(8)} = \left\{ \begin{array}{c} \left\| \begin{array}{cccccccc} 0 & & & & & & & 0 \\ 0 & 0 & & & & & & \\ 0 & 321 & 0 & & & & & \\ 0 & 421 & 431 & 0 & & & & \\ 0 & 521 & 531 & 541 & 0 & & & \\ 0 & 621 & 631 & 641 & 651 & 0 & & \\ 0 & 721 & 731 & 741 & 751 & 761 & 0 & \\ 0 & 821 & 831 & 841 & 851 & 861 & 871 & 0 \end{array} \right\| \right. ; \left. \left\| \begin{array}{cccccccc} 0 & & & & & & & 0 \\ 0 & 0 & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & & & & & \\ 0 & 0 & 432 & 0 & & & & \\ 0 & 0 & 532 & 542 & 0 & & & \\ 0 & 0 & 632 & 642 & 652 & 0 & & \\ 0 & 0 & 732 & 742 & 752 & 762 & 0 & \\ 0 & 0 & 832 & 842 & 852 & 862 & 872 & 0 \end{array} \right\| \right. ; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{c} \left\| \begin{array}{cccccccc} 0 & & & & & & & 0 \\ 0 & 0 & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 543 & 0 & & & \\ 0 & 0 & 0 & 643 & 653 & 0 & & \\ 0 & 0 & 0 & 743 & 753 & 763 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 843 & 853 & 863 & 873 & 0 \end{array} \right\| \right. ; \left. \left\| \begin{array}{cccccccc} 0 & & & & & & & 0 \\ 0 & 0 & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 654 & 0 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 754 & 764 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 854 & 864 & 874 & 0 \end{array} \right\| \right. ; \left. \left\| \begin{array}{cccccccc} 0 & & & & & & & 0 \\ 0 & 0 & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 765 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 865 & 875 & 0 \end{array} \right\| \right. ; \end{array} \right. \quad (14)$$

$$\left\{ \begin{array}{c} \left\| \begin{array}{cccccccc} 0 & & & & & & & 0 \\ 0 & 0 & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 876 & 0 \end{array} \right\| \right. ; \left. \left\| \begin{array}{cccccccc} 0 & & & & & & & 0 \\ 0 & 0 & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right\| \right. ; \left. \left\| \begin{array}{cccccccc} 0 & & & & & & & 0 \\ 0 & 0 & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right\| \right. \end{array} \right\}.$$

На рис. 1 також геометрично інтерпретовано матрицю конкурентоспроможних СС двовимірного ССС –  $S_{2K}^{(8)}$  (12) (показано за гранню куба ABGF як трикутну одиничну призму із 7-елементними катетами у вигляді множини затемнених непрозорих одиничних кубиків). Головна діагональ матриці  $S_{2K}^{(8)}$  (рис. 1) інтерпретує матрицю лінійного (одновимірного) 8-елементного ССС –  $S_1^{(8)}$  (пронумеровані одиничні кубики). Вздовж грані FE куба (рис. 1) пронумеровано позиції геометричного розташування 8-и квадратних матриць матриці  $S_3^{(8)}$  (13).

Наведений вище аналіз матриць [Sл] (4), [Sп] (7),  $S_{2K}$  (8), [So] (11),  $S_{2K}^{(8)}$  (12),  $S_3^{(8)}$  (13),  $S_{3K}^{(8)}$  (14) ілюструє наявність, так би мовити, **правила матричних діагоналей**, – коли діагоналі матриці ділять залишкову множину елементів (за винятком елементів, розміщених на діагоналях) на рівні за величиною підмножини, кількість яких дорівнює числу діагоналей матриці (або діагоналі матриці ділять всю множину елементів

матриці (за винятком елементів, розміщених на діагоналях) на рівні підмножини, кількість яких дорівнює подвоєному числу діагоналей матриці).

Обчислимо множину конкурентоспроможних СС матриці  $S_{3K}^{(8)}$  (рис. 1), враховуючи попередній аналіз матриці  $S_3^{(8)}$  (13).

Матриця  $S_3^{(8)}$  (13) є кубічною. Відповідно, загальна кількість її елементів обчислюється потрійним добутком числа елементів матриці –  $S_1^{(8)}$  ( $S_3^{(8)} = \left(S_1^{(8)}\right)^3$ ).

Від загальної кількості елементів кубічної матриці поетапно віднімемо множини всіх неконкурентоспроможних елементів.

На першому етапі віднімемо множину елементів, позначених цифрою «0» в матриці  $S_3^{(8)}$  (13), тобто елементи, що належать першій (головній) діагональній площині кубічної матриці –  $(S_1^{(8)} \cdot S_1^{(8)})$  та всі, що розташовані вище цієї діагональної площини –  $\left(\left(S_1^{(8)}\right)^3 - \left(S_1^{(8)}\right)^2\right) / 2$ .

На другому етапі віднімемо частину з множини елементів, які належать другій діагональній площині кубічної матриці, але розташовані нижче першої діагональної площини (у матриці  $S_3^{(8)}$  (13), не нульові елементи розташовані у вертикальних прямокутниках з дрібною пунктирною контурною лінією), тобто –  $\left(\left(S_1^{(8)}\right)^2 - S_1^{(8)}\right) / 2$ .

На третьому етапі також віднімемо частину з множини елементів, які належать третій діагональній площині кубічної матриці й також розташовані нижче першої (головної) діагональної площини (у матриці  $S_3^{(8)}$  (13), не нульові елементи розташовані у горизонтальних прямокутниках з пунктирною контурною лінією) та визначаються аналогічно до множини з другої діагональної площини, тобто –  $\left(\left(S_1^{(8)}\right)^2 - S_1^{(8)}\right) / 2$ .

На четвертому етапі залишену множину елементів матриці  $S_3^{(8)}$  (13) розділимо на три частини (правило трьох матричних діагональних площин) і отримаємо множину конкурентоспроможних елементів 3-їх квадрантів квадратних матриць матриці  $S_3^{(8)}$  (13).  
Остаточо

$$N_{S_{3K}}^{(8)} = \left( \frac{\left(S_1^{(8)}\right)^3 - \left(S_1^{(8)}\right)^2}{2} - \frac{\left(S_1^{(8)}\right)^2 - S_1^{(8)}}{2} - \frac{\left(S_1^{(8)}\right)^2 - S_1^{(8)}}{2} \right) / 3. \quad (15)$$

Підставимо числові значення у вираз (15) і отримаємо

$$N_{S_{3K}}^{(8)} = \left( \frac{(8)^3 - (8)^2}{2} - \frac{(8)^2 - 8}{2} - \frac{(8)^2 - 8}{2} \right) / 3 = 56 \quad \text{конкурентоспроможних} \quad \text{СС}$$

(непрозорих одиничних кубиків у трикутній піраміді – матриці  $S_{3K}^{(8)}$  (рис. 1)).

Вираз (15) напишемо в загальному вигляді

$$N_{S_{3K}} = \left( \frac{S_1^3 - S_1^2}{2} - S_1^2 + S_1 \right) / 3. \quad (16)$$

Множину  $N_{S_{3K}}$  можна ще обчислити як суму всіх стовпцевих сум [4] елементів кожної з квадратних матриць матриці  $S_{3K}$  (приклад матриці  $S_{3K}^{(8)}$  (14))

$$N_{S_{3K}} = \sum_{n=2}^{S_1} (S_1 - n) + \sum_{n=3}^{S_1} (S_1 - n) + \sum_{n=4}^{S_1} (S_1 - n) + \dots + \sum_{n=S_1}^{S_1} (S_1 - n) = \sum_{m=2n=m}^{S_1} \sum_{n=2}^{S_1} (S_1 - n), \quad (17)$$

де  $m$  – змінна, позначає кожну з квадратних матриць матриці  $S_{3K}$ ;  $n = 2, \dots, S_1$  – порядковий номер стовпця зліва направо в кожній з квадратних матриць матриці  $S_{3K}$ .

Із множини синтезованих конкурентоспроможних СС на перших трьох етапах ССС за розробленою системою критеріїв (у даному дослідженні не розглядаємо) визначено оптимальну СС з кодовим позначенням  $d_1b_2$ . За даною СС реалізовано етапи векторного, геометричного, топологічного та динамічного синтезів і сконструйовано ЗТФ із секторними ПДЕ [7]. Експериментальні випробування даної ЗТФ із конструктивними параметрами: діаметром  $D = 160$  мм; масою сектора з різцем  $m = 0,37$  кг і моментом його інерції  $I_2 = 0,0015$  кг·м<sup>2</sup>; коефіцієнтом кутової жорсткості гумового ПДЕ  $C_{ФР} = 0,9$  Н·м/рад.; логарифмічним декрементом затухання коливань у матеріалі ПДЕ  $\lambda_{ФР} = 1,2$  на режимах різання:  $t = 1,5$  мм;  $S_Z = 0,21$  мм/об;  $V = 250$  м/хв показали зменшення коефіцієнта динамічності при зустрічному однозубому фрезеруванні з кутом вривування  $\alpha = 90$  в 1,3 раза. Відповідно, це забезпечило підвищення стійкості різальних пластин зі сплаву Т15К6 на 30% і сплаву ТН20 – на 120%. За умови рівності стійкості різців синтезованої конструкції ЗТФ з ПДЕ [7] і ГОСТованої (жорсткої) фрези для сплаву Т15К6, перша ЗТФ забезпечила підвищення продуктивності обробки в 1,57 раза в порівнянні з другою. Такі результати експерименту підтверджують конкурентоздатність ЗТФ на основі відповідних синтезованих структурних схем.

**Висновки.** Запропоновано методологію побудови матриць та обчислення множин конкурентоспроможних структурних схем об'єктів на прикладі структурно-схемного синтезу збірних торцевих фрез з пружно-демпферними елементами.

На першому етапі структурно-схемного синтезу обрано початкову множину конкурентоспроможних структурних схем фрез, які позначено відповідними елементами матриць-стрічок і транспонованих до них матриць-стовпців.

На другому й третьому етапах структурно-схемного синтезу для побудови нових конкурентоспроможних структурних схем об'єктів (торцевих фрез) застосовується дія добутку елементів матриць попередніх етапів синтезу на елементи матриць-стрічок першого етапу структурно-схемного синтезу. В дію добутку елементів матриць вкладено зміст об'єднання однієї з іншою структурних схем – елементів відповідних матриць.

Проаналізовано множини усіх синтезованих структурних схем на кожному етапі синтезу. Запропоновано методологію матричних діагоналей для побудови матриць із множинами конкурентоспроможних структурних схем. Побудовано залежності для обчислення множин конкурентоспроможних структурних схем об'єктів (фрез).

Наведено приклад матричного моделювання множин конкурентоспроможних структурних схем об'єктів на базі восьми-елементного структурно-схемного синтезу.

Наступні етапи синтезу розширюють загальну множину та різноманіття побудов конкурентоспроможних структурних схем об'єктів.

**Conclusions.** A methodology for constructing matrices and calculating the sets of competitive structural schemes of objects is proposed, as an example of structural-schemes synthesis of sectional cutters with elastic-damping elements.

At the first stage of structural-scheme synthesis, the initial set of competitive structural schemes of sectional cutters is selected, which are indicated by the corresponding elements of the matrices-tapes and transposed to them matrices-columns.

At the second and third stages of structural-scheme synthesis for the construction of new competitive structural schemes of objects (sectional cutters), the multiplication effect of the elements of the matrices of the previous stages of synthesis on the elements of matrices-tapes of the first stage of structural-scheme synthesis is used. In the action of multiplying the elements of the matrices, it is invested the content of the association one with another structural schemes – the elements of the corresponding matrices.

The analysis of sets of all synthesized structural schemes at each stage of synthesis is carried out. The methodology of matrix diagonals for constructing matrices with sets of competitive structural schemes is proposed. Dependences are constructed for calculating the sets of competitive structural schemes of objects (sectional cutters).

An example of matrix modeling of sets of competitive structural schemes of objects on the basis of eight-element structural-scheme synthesis is given.

The following stages of synthesis broaden the overall set and variety of constructs of competitive structural schemes of objects.

#### Використана література

1. Нагорняк, С.Г. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования: Справочник [Текст] / С.Г. Нагорняк, И.В. Луцив. – К. : Техника, 1992. – 72 с.
2. Нагорняк, С.Г. Синтез сборных торцовых фрез с упругодемпфирующими элементами [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский // Изв. вузов. – М. : Машиностроение, 1991. – № 10 – 12. – С. 123 – 126.
3. Нагорняк, С.Г. Снижение ударных нагрузок при торцевом фрезеровании [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский // Информатизация та нові технології, наук: техн. журнал. – К. : УкрІНТЕІ, 1993. – № 1. – С. 30 – 31.
4. Нагорняк, С.Г. N-вимірний структурно-схемний синтез вузлів систем на прикладах збірних торцевих фрез і з'єднувальних муфт з пружно-демпфуючими елементами [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленський / Депоновано у ДНТБ України 22.04.1996, № 967-Ух96. – 22 с.
5. Нагорняк, С.Г. Торцеві фрези з регульованим часом холостих переміщень різців [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленський, В.І. Козак / Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя. – Тернопіль : ТДТУ, 2000. – Том 5, число 2. – С. 43 – 46.
6. А. с. № 1703295 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский; заявл. 03.01.1990; опубл. 1992, Бюл. № 1.
7. А. с. № 1750859 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский; заявл. 11.11.1990; опубл. 1992, Бюл. № 28.
8. А. с. № 1771894 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский; заявл. 01.02.1991; опубл. 1992, Бюл. № 40.
9. А. с. № 1780942 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский; заявлено 04.12.1990; опубл. 1992, Бюл. № 46.
10. Декларацийний патент на винахід UA № 18023, МПК 6 В23С5/06. Збірна торцева фреза [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленський, В.І. Козак; опубл. 17.06.1997.
11. Декларацийний патент на винахід UA № 33197, МПК 6 В23С5/06. Збірна торцева фреза [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленський, В.І. Козак; опубл. 15.02.2001, Бюл. № 1.
12. Нагорняк С.Г. Моделювання конкурентоспроможних структур вузлів машин на прикладі збірних торцевих фрез [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленський // Галицький економічний вісник. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – 2017. – № 1 (52). – С. 151 – 161.

## References

1. Nagornyak S.G. & Lutsiv I.V. (1992). Safety mechanisms of metal-working equipment. Directory. Kyiv, Ukraine, Tekhnika, 72 p.
2. Nagornyak S., Zelenskyu K. Synthesis of sectional cutters with elastic damping elements. Proceedings of universities. Mechanical engineering. Moscow, USSR, 1991, No. 10 – 12, pp. 123 – 126.
3. Nagornyak S., Zelenskyu K. Reduction of shock loads in machining with face milling cutters. Informatization and new technologies. Kyiv, Ukraine, 1993, No. 1, pp. 30 – 31.
4. Nagornyak S., Zelenskyu K. N-dimensional structural-scheme synthesis of system nodes on the examples of sectional cutters and couplings with elastic damping elements. Assigned to the State Scientific Technical Library. Kyiv, Ukraine, 1996, No. 967-Ух96, 22 p.
5. Nagornyak S., Zelenskyu K., Kozak V. Sectional cutters with adjustable time of the idling displacements of cutters. Bulletin of the Ivan Puluj Ternopil State Technical University. Ternopil, Ukraine, 2000, No. 5 (2), pp. 43 – 46.
6. Copyright certificate No. 1703295. Sectional cutter, S. Nagornyak, K. Zelenskyu. Bulletin of inventions. Moscow, USSR, 1992, No. 1, 3 p.
7. Copyright certificate No. 1750859. Sectional cutter, S. Nagornyak, K. Zelenskyu. Bulletin of inventions. Moscow, USSR, 1992, No. 28, 3 p.
8. Copyright certificate No. 1771894. Sectional cutter, S. Nagornyak, K. Zelenskyu. Bulletin of inventions. Moscow, USSR, 1992, No. 40, 3 p.
9. Copyright certificate No. 1780942. Sectional cutter, S. Nagornyak, K. Zelenskyu. Bulletin of inventions. Moscow, USSR, 1992, No. 46, 4 p.
10. Declarative patent for invention No. 18023. Sectional cutter, S. Nagornyak, K. Zelenskyu, V. Kozak. Bulletin of inventions. Kyiv, Ukraine, 1997, No. 1, 3 p.
11. Declarative patent for invention No. 33197. Sectional cutter, S. Nagornyak, K. Zelenskyu, V. Kozak. Bulletin of inventions. Kyiv, Ukraine, 2001, No. 1, 3 p.
12. Nagornyak S., Zelenskyu K. Modeling competitive structures of machine nodes on the example of sectional cutters. Halytskyi ekonomichnyi visnyk, Ternopil, Ukraine, 2017, No. 1 (52), pp. 151 – 161.

Отримано 10.02.2018

УДК 339.133

**Людмила СТРОЦЕНЬ**

**Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя, Тернопіль, Україна**

**ЯКІСНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ**

*Резюме.* Досліджено класифікацію методів прогнозування попиту. Зосереджено увагу на якісних методах, які включають: метод експертних оцінювань (метод Дельфи, мозкового штурму), метод опитування, метод сценаріїв. Запропоновано етапи проведення прогнозування за допомогою методу експертних оцінювань. Зазначено, як проводиться вибір експертів та формули визначення коефіцієнта рівня їх компетентності.

*Ключові слова:* попит, ринок, прогнозування, якісні методи прогнозування, експертне оцінювання, опитування, сценарії.

**Liudmyla STROTSEN**

**Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine**

**QUALITATIVE METHODS OF FORECASTING DEMAND**

*Summary.* In today's market environment, corporations face fierce competition, which is the driving force of the market. Commodity producers are struggling for their own market share, as well as for their consumer.