

- Ekonomichni innovatsii – Economic innovation, 2017, 63, 116 – 125.
9. Yatsuk I., Panasenko V. Grunty potrebuiut zakhystu (Soils need protection). Zhurnal verkhovnoi rady ukrainy viche. Journal of Verkhovna Rada of Ukraine „Veche“. Vol. 15, 2013. www.iogu.gov.ua/publikaciji/statti/grunty-potrebuyut-zahystu. Retrieved from. http://www.iogu.gov.ua/publikaciji/statti/grunty-potrebuyut-zahystu/. [In Ukrainian].
10. Wendelin Wichtmann, Christian Schroder, Hans Joosten et. Al. Paludiculture – productive use of wet peatlands, 2016, 109 – 134, 149, 175 – 178, 272.

Отримано 15.11.2017

УДК 338.2; 621.914.22

Степан НАГОРНЯК ; **Костянтин ЗЕЛЕНСЬКИЙ**

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

МОДЕЛЮВАННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНИХ СТРУКТУР ВУЗЛІВ МАШИН НА ПРИКЛАДІ ЗБІРНИХ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ

***Резюме.** Запропоновано методологію моделювання конкурентоспроможних структур вузлів машин на прикладі збірних тоцевих фрез з пружно-демпфуючими елементами. На першому етапі запропоновано принципи побудови структурних схем торцевих фрез: 1) розтин корпусу фрези площинами і поверхнями, побудованими дискретним або неперервним поворотом формуючої лінії; 2) введення в місце розтину корпусу фрези пружно-демпфуючих елементів. Структурні схеми фрез об'єднано за однаковими принципами побудови, описано їх конкурентоспроможні характеристики й позначено відповідними елементами матриць-стрічок. На другому етапі нові структурні схеми фрез побудовано добуток елементів транспонованих матриць-стовпчиків на елементи матриць-стрічок, побудованих на першому етапі. В дію добутку елементів відповідних матриць вкладено фізичний зміст накладання одна на одну відповідних структурних схем. На наступних етапах для побудови нових структурних схем конкурентоспроможних торцевих фрез продовжено застосування дії добутку елементів матриць попередніх етапів проектування на елементи матриць-стрічок першого етапу проектування.*

***Ключові слова:** збірна торцева фреза, структурна схема, синтез, етап, конкурентоспроможний.*

Stepan NAGORNYAK ; **Kostyantyn ZELENSKYI**

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

MODELING COMPETITIVE STRUCTURES OF MACHINE NODES ON THE EXAMPLE OF SECTIONAL CUTTERS

***Summary.** Reducing the negative effect of the action of variable loads is achieved by introducing elastic couplings or elastic-damping elements into drive systems of machines or directly into the design of the tool. The article proposes a methodology for modeling competitive structures of machine nodes on the example of sectional cutters with elastic-damping elements by means of a step-by-step solution the tasks of structural-scheme synthesis. At the first stage of structural-scheme synthesis the proposes a principles of construction of new competitive structural schemes of sectional cutters: 1) reduction of the moment of inertia of the masses of the drive, severely tied to the tool cutter by cutting the cutter body with planes and surfaces constructed by discrete or continuous rotation of the forming line; 2) reducing the impact of the shock load on the cutting tool by inserting the elastic-damping elements into the site of the cutting the cutter body. Structural schemes of sectional cutters are united according to the same principles of construction, their competitive characteristics are described and marked with corresponding elements of matrixes-tapes. At the second stage of structural-scheme synthesis, new structural schemes of competitive of sectional cutters are constructed by multiplying the elements of transposed matrixes-*

columns on the elements of matrixes-tapes constructed in the first stage. In the mathematical effect of multiplying the elements of the corresponding matrixes, the physical content of the overlapping of corresponding structural schemes and the combination of the corresponding competitive characteristics is invested. In the subsequent stages of structural-scheme synthesis for the construction of new structural schemes of competitive of sectional cutters the application of the multiplication of elements of the matrixes of the previous stages of designing on the elements of the matrixes-tapes of the first stage of designing continues. Changing the rules in applying structural elements or significantly changing the characteristics of elements in the synthesized structural schemes allows to proceed to the design of another class of competitive of sectional cutters and machine nodes.

Key words: sectional cutter, structural scheme, synthesis, stage, competitive.

Постановка проблеми. В машинобудівній, гірничодобувній промисловості, в багатьох галузях народного господарства велика кількість верстатного й 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 зносу його головних та приводних вузлів, зносу та руйнуванню оброблювального інструменту, виникненню браку продукції. Відповідно, підприємства змушені витратити додаткові кошти на ремонт або заміну обладнання, заміну оброблювального інструменту, нести втрати, пов'язані з браком продукції.

Зменшити негативний вплив від дії змінних навантажень вдається шляхом введення в приводні системи машин пружних з'єднувальних муфт або пружно-демпфуючих елементів безпосередньо в конструкцію оброблювального інструменту [1]. Такі нові конструкції вузлів машин та оброблювального інструменту є конкурентоспроможними в порівнянні з попередніми конструкціями. Поряд з тим ще на етапах проектування необхідно додатково здійснювати перевірку економічної ефективності від упровадження тієї чи іншої конструктивної новації.

Аналіз досліджень. Для прикладу розглянемо високодинамічний процес оброблення металів різанням – торцеве фрезерування. Такий процес характеризується змінністю сил різання, супроводжується високим рівнем шуму і вібрацій [2]. Ці явища зменшують довговічність елементів приводів верстату й оснащення [1], є причиною підвищеного зносу і крихкого руйнування різальних елементів збірних торцевих фрез (ЗТФ) [4], погіршують якість і точність обробки [2]. Ефективне зменшення рівня динамічних навантажень при торцевому фрезеруванні досягається зменшенням моменту інерції обертових мас приводу, жорстко зв'язаних із різцем ЗТФ [1, 4], збільшенням податливих і демпфуючих характеристик як пружних з'єднувальних муфт [1] в приводі, так і пружно-демпфуючих елементів (ПДЕ), додатково введених у конструкцію ЗТФ [3, 4].

Включення ПДЕ безпосередньо в конструкцію фрези [1, 3, 4, 6 – 11, 13 – 16] є інноваційним конструктивним рішенням, яке за самою ідеєю є конкурентоспроможним у порівнянні із застосуванням жорсткої конструкції ЗТФ. Тому надалі вважатимемо, що всі ЗТФ з ПДЕ є конкурентоспроможними. Синтез конкурентоспроможних структур вузлів машин розглянемо на прикладі синтезу ЗТФ з ПДЕ.

Множина синтезованих нових конструкцій залежить від прийнятих принципів та підходів до побудови структур як самої ЗТФ, так і її ПДЕ [3, 6]. При проектуванні нових конкурентоспроможних структур вузлів машин важливими є значення величини та повноти побудови всієї множини можливих структур ЗТФ з ПДЕ. На наступних етапах проектування з даної множини обирається оптимальна (раціональна) структура ЗТФ з ПДЕ, яка є результатом розв'язання відповідних оптимізаційних задач.

Мета статті – розроблення методології моделювання конкурентоспроможних структур вузлів машин на прикладі збірних тоцевих фрез з пружно-демпфуючими елементами шляхом поетапного вирішення завдань структурно-схемного синтезу.

Виклад основного матеріалу. На першому ієрархічному рівні побудуємо методологію вирішення завдань структурно-схемного синтезу ЗТФ з ПДЕ [6], яка

полягає у формулюванні прийомів та підходів поетапної побудови всієї множини можливих конкурентоспроможних структурних схем (СС) нових прогресивних конструкцій ЗТФ.

На наступних ієрархічних рівнях за допомогою задачі направленої оптимізації визначається оптимальна СС, для якої реалізуються завдання векторного, геометричного, топологічного та динамічного синтезів (в даній статті не розглядається) і проектується конкурентоспроможна ЗТФ з ПДЕ із раціональними кінематичними, конструктивними та динамічними характеристиками.

На першому етапі структурно-схемного синтезу ЗТФ запропоновано два принципи побудови нових конкурентоспроможних СС: 1) для зменшення моменту інерції мас привода, жорстко зв'язаних із різцем інструменту, здійснимо розтин корпусу ЗТФ площинами і поверхнями у напрямках, утворених дискретним або неперервним поворотом формуючої лінії (ліній) (ФЛ) навколо осі ЗТФ або навколо точки на осі, чи навколо точки, зміщеної відносно осі, з використанням методів дзеркального відображення, обертання та лінійного переміщення; 2) для зменшення негативного впливу від дії змінного (ударного) навантаження при торцевому фрезеруванні шляхом підвищення податливості різців введемо ПДЕ в місце розтину корпусу ЗТФ або замінімо деякі елементи структурних схем ЗТФ на ПДЕ. Геометрична інтерпретація принципів побудови структурних схем ЗТФ та об'ємні зображення СС наведено в таблицях 1 – 4.

Розглянемо поворот формуючого променя на кут φ навколо деякої точки O , яку розташуємо на середині осі обертання корпусу фрези (п. 1, табл. 1). Корпус ЗТФ в осьовій площині представимо у вигляді прямокутника. Точка O є початком формуючого променя (лінії ФЛ), який неперервно обертаємо навколо осі інструменту (п. 2, табл. 1) і будуємо таким чином відповідні січні конічні поверхні (п. 3, табл. 1), які розтинають корпус фрези на дві частини. Об'ємні зображення побудованих СС ЗТФ (п. 3, табл. 1) позначимо відповідними буквами $a_1 - a_6$ (п. 4, табл. 1).

На СС a_1 (табл. 1) ФЛ співпадає з віссю обертання фрези. Конструкція ЗТФ за даною СС включає в себе корпус разом із жорстко закріпленими в ньому всіма різцями, й оправку. Між оправкою та корпусом ЗТФ може бути встановлена пружно-демпфуюча муфта [8]. Для зменшення маси корпусу ЗТФ муфта або ПДЕ можуть бути введені безпосередньо в корпус інструменту [14].

На СС a_2 (табл. 1) ФЛ буде січну конічну поверхню, яка відтинає частину об'єму корпусу ЗТФ і зменшує таким чином його масу. Розташування ПДЕ на поверхні конуса, наприклад торових, з різними радіусами відносно осі обертання, дозволить регулювати податливість фрези для різних режимів обробки. Направленість нижнього конуса в бік різців забезпечує можливість швидкої заміни ПДЕ безпосередньо на верстаті [13]. Проте, в конструкції ЗТФ за даною СС, як і в СС a_1 , маса корпусу ЗТФ разом із жорстко закріпленими в ньому всіма різцями залишається таки значною.

На СС a_3 (табл. 1) ФЛ буде січну конічну поверхню, яка розтинає корпус фрези на два диски. Диски різняться між собою масами із відповідними моментами інерції. Різці можуть кріпитися до одного і другого диска по черзі. Це дає можливість забезпечити різні частоти коливань між сусідніми зубами інструменту в процесі оброблення й позитивно впливати на вібростійкість ЗТФ у цілому.

На СС a_4 (табл. 1) ФЛ буде січну поверхню – площину, яка розтинає корпус на два диски, але тепер з рівними масами. Різні частоти коливань між сусідніми зубами будуть забезпечувати різні довжини державок різців, різні топологічні схеми передавання крутного моменту та розташування ПДЕ з різними конструктивними і податливими характеристиками залежно від вимог обробки. В даній СС, а також і за схемою a_3 , є можливість отримувати диски різної маси, якщо точку O зміщувати вздовж осі в будь якому напрямку [10].

На СС a_5 (табл. 1) ФЛ буде січну поверхню, яка утворює два диски з протилежно направленою до СС a_3 січною конічною поверхнею. Фреза за даною СС характеризується такими ж властивостями, як і за СС a_3, a_4 . Крім того, дводисковими ЗТФ (за СС $a_3 - a_5$) можна одночасно виконати чорнову і чистову обробки, коли зуби нижнього диска здійснюють чорнове різання, а зуби верхнього диска – чистове (при відповідному поділі глибин різання між зубами обох дисків).

На СС a_6 (табл. 1) ФЛ буде січну поверхню, яка відтинає частину об'єму від корпусу ЗТФ у вигляді верхнього конуса. Конструкція інструмента за даною СС буде володіти подібними властивостями до ЗТФ за СС a_2 .

Згрупуємо СС ЗТФ (табл. 1), що побудовані за однаковими прийомами побудови у матрицю-стрічку А:

$$A = \parallel a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 \parallel. \quad (1)$$

Таблиця 1

Побудова структурних схем ЗТФ – елементів матриці-стрічки А

Table 1

№	Кут φ	$\varphi=0+k\pi$	$0<\varphi<\pi/4$	$\pi/4<\varphi<\pi/2$	$\varphi=\pi/2$	$\pi/2<\varphi<3\pi/4$	$3\pi/4<\varphi<\pi$
1	Поворот променя навколо точки О						
2	Поворот ФЛ навколо осі						
3	Об'ємне зображення синтезованої структурної схеми ЗТФ						
4	Позначення	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
5	Характеристика	Значна маса корпусу	Значна маса корпусу	Зменшена маса корпусу	Поділ маси корп. навпіл	Зменшена маса корпусу	Значна маса корпусу

Construction of structural schemes of sectional cutters – elements of matrix-tape A

Далі продовжимо розглядати дискретний поворот формуючої лінії ФЛ навколо точки О (осі) фрези в площині, перпендикулярній до осі обертання інструмента (п. 1, табл. 2). Величина кута повороту ФЛ φ залежить від кількості зубів інструмента z . Початок відліку приймемо в зоні між різцями фрези (п. 2, табл. 2). Дзеркальне відображення променя ФЛ відносно точки О буде січну лінію ФЛ, переміщення якої

вздовж осі фрези утворюють січні площини, які поділяють корпус ЗТФ на сектори. Об'ємні зображення побудованих СС ЗТФ (п. 3, табл. 2) позначено буквами відповідно – b_1 – b_4 (п. 4, табл. 2).

Таблиця 2

Побудова структурних схем ЗТФ – елементів матриці-стрічки В

Table 2

Construction of structural schemes of sectional cutters – elements of matrix-tape В

№	Кут φ	$\varphi = 0 + 2k\pi$	$0 < \varphi < 2\pi/z$	$\varphi = 2\pi/4$	$\varphi = 2\pi/2$
1	Поворот променя на кут φ навколо т. О				
2	Дзеркальне відображ. ФЛ відносно т.О; переміщення ФЛ уздовж осі				
3	Об'ємне зображення синтезованої структурної схеми ЗТФ				
4	Позначення	b_1	b_2	b_3	b_4
5	Характеристика	Значна маса корпусу	Поділ маси корп. в z разів	Поділ маси корп. вчетверо	Поділ маси корп. навпіл

Структурна схема b_1 (табл. 2) побудована з використанням додаткового прийому – промінь ФЛ ліквідується, а його початок (точка О) залишається. Точку О переміщуємо вздовж осі обертання інструмента і будуємо ФЛ, яка перетворює СС b_1 у подібну до СС a_1 (табл. 1). Подібність СС b_1 та a_1 буде використана на наступних етапах моделювання СС.

На СС b_2 (табл. 2) ФЛ будують січні площини, які розтинають корпус на сектори, до кожного з яких жорстко кріпиться тільки один різець. Така схема зменшує масу корпусу фрези в z разів [11]. Крім того, кожен сектор-різець оснащується незалежним ПДЕ, конструкції яких можуть відрізнятися. В цьому випадку різці володітимуть різними частотами власних коливань, а звільнені від різання різці, внаслідок своєї рухомості, виступатимуть у ролі динамічних погашувачів коливань, що виникають у процесі фрезерної обробки.

На СС b_3 і b_4 (табл. 2) січні площини розтинають корпус так, що з кожним сектором жорстко з'єднуються по два і більше різців відповідно. ЗТФ, побудовані за такими СС, будуть характеризуватися сукупними ознаками від СС b_1 і b_2 .

Згрупуємо СС ЗТФ (табл. 2) у матрицю-стрічку В:

$$B = \parallel b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \parallel. \quad (2)$$

Розглянемо ще два підходи при побудові СС ЗТФ (табл. 3). 1). У нормальному перерізі на корпусі фрези задається точка А (кілька точок А, кратних числу зубів z), розташована на деякій відстані від осі обертання інструмента. В першому випадку (п. 1, табл. 3, СС буквенно позначено – $c_1 - c_3$), поворот ФЛ на кут φ здійснюється навколо точки А. Дзеркальне відображення променя ФЛ відносно осі, що проходить через середину різця (п. 2, табл. 3) буде ламаною січною лінією ФЛ, переміщення якої вздовж осі фрези утворюють січні площини, які поділяють корпус ЗТФ на сектори та сегменти. 2). У другому випадку (табл. 3, СС d_1, d_2) – формувальна лінія ФЛ у вигляді дуги будується поворотом точки А на кут φ навколо осі обертання фрези. Переміщення дугових ФЛ одного або різних радіусів уздовж осі фрези утворюють відповідні січні циліндричні поверхні, які поділяють корпус ЗТФ на відповідні циліндри або сектори.

На СС c_1 (табл. 3) січними площинами утворені сектори, осі можливого обертання яких зміщені відносно осі обертання корпусу фрези. За даною СС можуть бути спроектовані дві ЗТФ. У однієї, кожен різець жорстко з'єднаний із окремим шарнірним сектором-державкою [9], у другій – різці чергуються між собою і один жорстко з'єднується із сектором, а другий – із корпусом фрези. Сектори-державки оснащуються ПДЕ. Зміщення осі обертання секторів-державок відносно осі фрези забезпечує кінематичне зменшення товщини зрізаного шару на етапі врізування. Поряд з тим, негативним є зміна геометричних параметрів різального леза, що може знижувати стійкість різців. Порівняння реальних ефектів впливу від обох факторів дозволить прийняти відповідне рішення щодо конкурентоспроможності ЗТФ, побудованої за даною СС.

На СС c_2 (табл. 3) січні площини розтинають корпус ЗТФ на сектори різної форми з можливими коловими і дотичними напрямками відносних зміщень. Чергування різних напрямів відносних зміщень між сусідніми секторами-державками у реальній конструкції ЗТФ забезпечить різні схеми зрізування припуску зубами фрези і, відповідно, змінить монотонність дії силових спектрів на оброблювальну систему.

На СС c_3 (табл. 3) січними площинами відтинаються від корпусу ЗТФ сектори-державки з можливими дотичними відносними зміщеннями. ЗТФ за такою схемою володітиме ознаками подібними до ЗТФ за СС c_1, c_2 .

За СС d_1 (табл. 3) можлива побудова конструкції ЗТФ, у якій маса корпусу разом із жорстко закріпленими в ньому різцями зменшена на масу внутрішнього циліндра. Між внутрішнім циліндром і корпусом ЗТФ встановлюються ПДЕ [14].

За СС d_2 (табл. 3) можлива побудова конструкції ЗТФ, у якій сектори відрізняються радіусами внутрішнього циліндра і відповідно мають різні маси. До кожного сектора жорстко кріпиться по одному або більше різців. Така ЗТФ характеризуватиметься різними частотами власних коливань секторів-державок.

Згрупуємо побудовані СС ЗТФ за принципами побудови (табл. 3) у відповідні матриці-стрічки С та D:

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

Таблиця 3

Побудова структурних схем ЗТФ – елементів матриць-стрічок C і D

Table 3

Construction of structural schemes of sectional cutters – elements of matrixes-tapes C and D

№	Кут φ	$0 < \varphi < \pi/2$	$\varphi = \pi/2$	$\varphi = \pi/2$	$\varphi = 2\pi/A$	$\varphi = 2\pi/A$
1	Поворот променя навколо т. А; поворот т. А навколо т. О (d_1, d_2)					
2	Дзеркальне відображ. ФЛ і переміщ. її вздовж осі					
3	Об'ємне зображення синтезованої структурної схеми ЗТФ					
4	Познач.	c_1	c_2	c_3	d_1	d_2
5	Характеристика	Радіусні відхилення різців	Радіусні і дотичні відхил. різців	Дотичні відхилення різців	Зменшення маси корпусу	Колові відхилення різців

Об'єднаємо множину побудованих СС матриць-стрічок А, В, С, D (1 – 3) в єдину матрицю-стрічку [S_л]

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

і назвемо її матрицею лінійного структурно-схемного синтезу СС ЗТФ.

Множина СС ЗТФ (4) не обмежується запропонованою кількістю побудованих СС і може бути розширена при застосуванні додаткових підходів у побудові СС ЗТФ.

На другому етапі розвинемо методологію побудови СС ЗТФ. Для цього використаємо матричну форму представлення СС ЗТФ (1 – 3) і перемножимо транспоновані матриці-стовпчики B^T, C^T і D^T на матрицю-стрічку А, вклавши в цю математичну дію фізичний зміст накладання СС матриць B^T, C^T і D^T на СС матриці А. В результаті отримаємо матрицю площинного (двовимірного) структурно-схемного синтезу СС ЗТФ – [S_п]

$$[S_{II}] = \begin{bmatrix} B^T \\ C^T \\ D^T \end{bmatrix} \cdot [A] = \begin{bmatrix} B^T \cdot A \\ C^T \cdot A \\ D^T \cdot A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 a_1 & b_1 a_2 & \dots & b_1 a_6 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_4 a_1 & b_4 a_2 & \dots & b_4 a_6 \\ c_1 a_1 & c_1 a_2 & \dots & c_1 a_6 \\ c_2 a_1 & c_2 a_2 & \dots & c_2 a_6 \\ c_3 a_1 & c_3 a_2 & \dots & c_3 a_6 \\ d_1 a_1 & d_1 a_2 & \dots & d_1 a_6 \\ d_2 a_1 & d_2 a_2 & \dots & d_2 a_6 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Кожен елемент матриці (5) позначає новоутворені конкурентоспроможні СС. Геометрична інтерпретація побудованих СС ЗТФ площинного структурно-схемного синтезу $[S_{II}]$ у вигляді об'ємних зображень наведено у табл. 4. Конструкції ЗТФ за СС $[S_{II}]$ (5) (табл. 4) володітимуть сукупними ознаками і характеристиками від СС $[S_{I}]$ (4).

На **третьому й наступних етапах** структурно-схемного синтезу ЗТФ нові конкурентоспроможні СС будують добуток матриць попередніх етапів синтезу на матрицю-стрічку $[S_{I}]$ (4). В результаті отримуємо відповідні матриці **тривимірного** $[S_{III}] = [S_{II}] \cdot [S_{I}]$, **чотиривимірного** $[S_{IV}] = [S_{III}] \cdot [S_{I}]$ і **наступних вимірів** $[S_N] = [S_{N-1}] \cdot [S_{I}]$ **структурно-схемних синтезів** СС ЗТФ. Найвищий вимір (етап) синтезу $[S_N]$ визначаються кількістю – N структурних схем лінійного структурно-схемного синтезу $[S_{I}]$ (4) ЗТФ.

До деяких синтезованих СС двовимірного (площинного) структурно-схемного синтезу ЗТФ з ПДЕ $[S_{II}]$ (5) автори запропонували конкурентоспроможні конструкції фрез відповідно: $b_1 a_1$ – ЗТФ з пружно-демпфуючою муфтою [8]; $b_1 a_4$ – дводискова ЗТФ [10]; $b_2 a_1$ – ЗТФ із секторами-різцями [11]; $b_1 a_2$ – ЗТФ із торовими ПДЕ [13]; $c_1 a_1$ – ЗТФ із шарнірними секторами-державками [9]; $d_1 a_1$ – ЗТФ із втулковими ПДЕ [14].


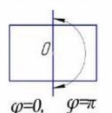
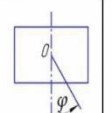
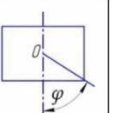
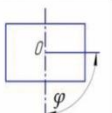
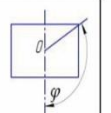
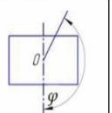
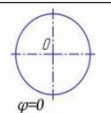
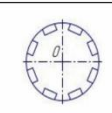
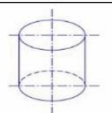
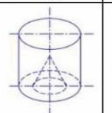
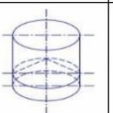
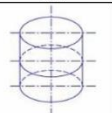
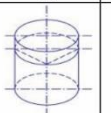
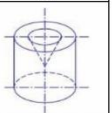
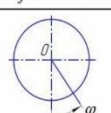
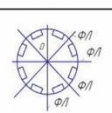
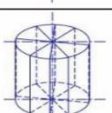
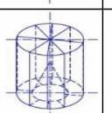
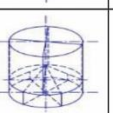
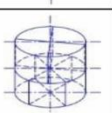
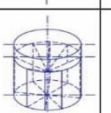
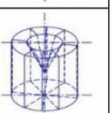
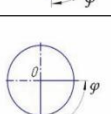
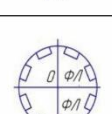
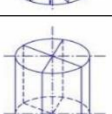
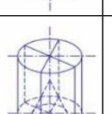
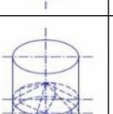
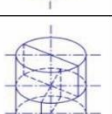
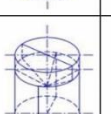
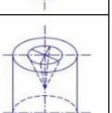
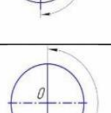
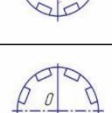
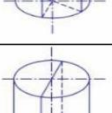
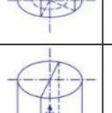
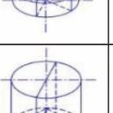
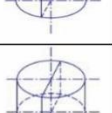
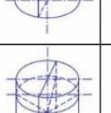

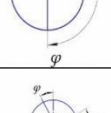
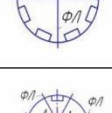
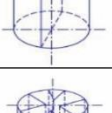
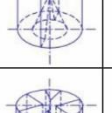
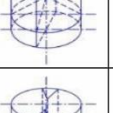
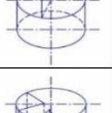
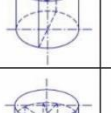
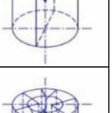
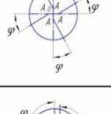
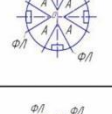
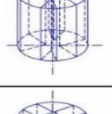
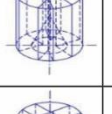
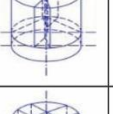
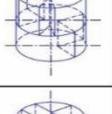
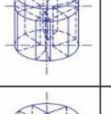
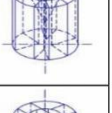
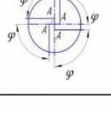
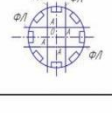
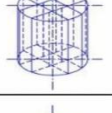
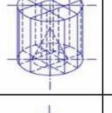
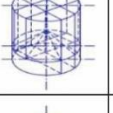
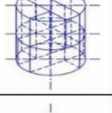
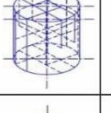
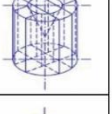
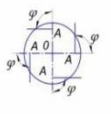
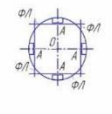
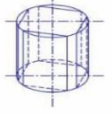
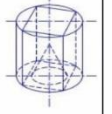
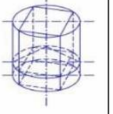
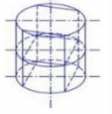
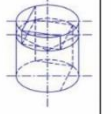
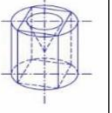
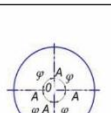
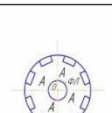
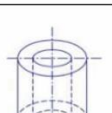
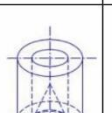
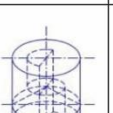
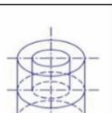
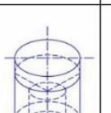
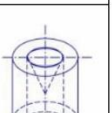
Запропоновані принципи побудови й моделювання конкурентоспроможних СС ЗТФ з ПДЕ можуть бути застосовані для побудови структур вузлів машин інших галузей машинобудування: 1). Включення пружних елементів та ПДЕ в конкурентоспроможні запобіжні механізми для токарних, свердлильних, фрезерних робіт та інструменти для вихрового нарізування різь [1] дозволяє підвищити ефективність обробки різанням за рахунок підвищення стійкості інструмента, забезпечення гарантованого дроблення стружки, підвищення вібростійкості процесу різання; 2). Зміна правил у застосуванні елементів синтезованих СС ЗТФ, наприклад, обертання у протилежні сторони дисків фрези за СС $b_1 a_3 - b_1 a_5$ (табл. 4) дозволяє будувати за тими ж СС інші вузли машин – конкурентоспроможні двофрезерні головки для високопродуктивної обробки деталей малої жорсткості [5, 12]; 3). Застосування підходу суттєвої зміни характеристик елементів СС, наприклад, ПДЕ з високою податливістю за СС $d_2 d_1 b_2 a_1$ чотиривимірного структурно-схемного синтезу ЗТФ $[S_{IV}]$ дозволяє перейти до проектування іншого класу конкурентоспроможних ЗТФ із регульованим часом холостих переміщень різців [7, 15, 16], які забезпечують зменшення амплітуди коливань температури різання при торцевому фрезеруванні і, відповідно, підвищення стійкості різців.

Таблиця 4

Структурні схеми ЗТФ площинного структурно-схемного синтезу

Table 4

Structural schemes of sectional cutters of planar structural-scheme synthesis

Об'єкт синтезу			Межі кута φ	$\varphi=0+k\pi$	$0<\varphi<<\pi/2$	$\pi/4<\varphi<<\pi/2$	$\varphi = \pi/2$	$\pi/2<<\varphi<<\pi/4$	$\pi/4<<\varphi<<\pi$		
			Поворот променя навколо т. О								
	Етапи синтезу	Межі кута φ	Поворот променя (т.А.) навколо т. О, А	Поворот формуючої лінії (ФЛ) навколо осі	Структурні схеми матриці А						
				a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6		
Добуток елементів матриць В ^Г , С ^Г , D ^Г на елементи матриці А	Структурні схеми матриці В ^Г	$P \varphi=0+2+2k\pi$			b_1						
		$0 0<\varphi<<2\pi/z$			b_2						
		$\varphi = \frac{2\pi}{4}$			b_3						
		$\varphi = \frac{2\pi}{2}$			b_4						
	Структурні схеми матриці С ^Г	$0 0<\varphi<<\pi/2$			c_1						
		$\varphi = \frac{\pi}{2}$			c_2						
		$\varphi = \frac{\pi}{2}$			c_3						
	Структурні схеми матриці D ^Г	$\varphi = \frac{2\pi}{A}$			d_1						
		$\varphi = \frac{2\pi}{A}$			d_2						

Висновки. Запропоновано методологію моделювання конкурентоспроможних структур вузлів машин на прикладі збірних тоцевих фрез з пружно-демпфуючими елементами шляхом поетапного вирішення завдань структурно-схемного синтезу.

На першому етапі запропоновано принципи побудови нових конкурентоспроможних структурних схем торцевих фрез: 1) зменшення моменту інерції мас приводу шляхом розтину корпусу фрези площинами і поверхнями, побудованими дискретним або неперервним поворотом формуючої лінії; 2) зменшення дії ударного навантаження на оброблювальний інструмент шляхом введення в місця розтину корпусу фрези пружно-демпфуючих елементів. Структурні схеми фрез об'єднано за однаковими принципами побудови, описано їх конкурентоспроможні характеристики й позначено відповідними елементами матриць-стрічок.

На другому етапі структурні схеми нових конкурентоспроможних торцевих фрез побудовано добутком елементів транспонованих матриць-стовпчиків на елементи матриць-стрічок, побудованих на першому етапі, вклавши в цю математичну дію фізичний зміст накладання один на одного елементів відповідних матриць.

На наступних етапах для побудови нових структурних схем конкурентоспроможних торцевих фрез продовжується застосування дії добутку елементів матриць попередніх етапів проектування на елементи матриць-стрічок першого етапу проектування.

Зміна правил у застосуванні конструктивних елементів або суттєвої зміни характеристик елементів у синтезованих структурних схемах дозволяє перейти до проектування іншого класу конкурентоспроможних торцевих фрез та вузлів машин.

Conclusions. The article proposes a methodology for modeling competitive structures of machine nodes on the example of sectional cutters with elastic-damping elements by means of a step-by-step solution the tasks of structural-scheme synthesis.

At the first stage of structural-scheme synthesis the proposes a principles of construction of new competitive structural schemes of sectional cutters: 1) reduction of the moment of inertia of the masses of the drive, severely tied to the tool cutter by cutting the cutter body with planes and surfaces constructed by discrete or continuous rotation of the forming line; 2) reducing the impact of the shock load on the cutting tool by inserting the elastic-damping elements into the site of the cutting the cutter body. Structural schemes of sectional cutters are united according to the same principles of construction, their competitive characteristics are described and marked with corresponding elements of matrixes-tapes.

At the second stage of structural-scheme synthesis, new structural schemes of competitive of sectional cutters are constructed by multiplying the elements of transposed matrixes-columns on the elements of matrixes-tapes constructed in the first stage. In the mathematical effect of multiplying the elements of the corresponding matrixes, the physical content of the overlapping of corresponding structural schemes and the combination of the corresponding competitive characteristics is invested.

In the subsequent stages of structural-scheme synthesis for the construction of new structural schemes of competitive of sectional cutters the application of the multiplication of elements of the matrixes of the previous stages of designing on the elements of the matrixes-tapes of the first stage of designing continues.

Changing the rules in applying structural elements or significantly changing the characteristics of elements in the synthesized structural schemes allows to proceed to the design of another class of competitive of sectional cutters and machine nodes.

Використана література

1. Нагорняк, С.Г. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования: Справочник [Текст] / С.Г. Нагорняк, И.В. Луцив. – К.: Техника, 1992. – 72 с.
2. Gyugax P.E. Dynamics of single-tooth milling. CIRP Annals, 1979, vol. 28, no. 1, pp. 65 – 70.
3. Нагорняк, С.Г. Синтез сборных торцевых фрез с упруго- демпфирующими элементами [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский // Изв. вузов. машиностр. – 1991. – № 10 – 12. – С. 123 – 126.
4. Нагорняк, С.Г. Снижение ударных нагрузок при торцевом фрезеровании [Текст] / С.Г. Нагорняк,

- К.В. Зеленский // Информатизация и новые технологии. – 1993. – № 1. – С. 30 – 31.
5. Нагорняк, С.Г. Двухфрезерная обработка деталей малой жесткости [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский // Информатизация и новые технологии. – 1993. – № 2. – С. 18 – 19.
 6. Нагорняк, С.Г. N-вимірний структурно-схемний синтез вузлів систем на прикладах збірних торцювих фрез і з'єднувальних муфт з пружно-демпфуючими елементами [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский // Депоновано у ДНТБ України 22.04.1996, № 967-Ух96. – 22с.
 7. Нагорняк, С.Г. Торцеві фрези з регульованим часом холостих переміщень різців [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский, В.І. Козак // Вісник Терноп. держ. техн. у-ту ім. І. Пулюя. – Тернопіль: ТДТУ. 2000. Том 5, число 2. – С. 43 – 46.
 8. А. с. № 831426 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза [Текст] / С.Г. Нагорняк – Заявлено 12.09.1979; Оpubл. 23.05.1981. Бюл. № 19. – 3 с.
 9. А. с. № 852460 СССР, МКИ В23С 5/06. Торцовая фреза [Текст] / С.Г. Нагорняк – Заявлено 05.06.1979; Оpubл. 07.08.1981. Бюл. № 29. – 3 с.
 10. А. с. № 1703295 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский – Заявлено 03.01.1990; Оpubл. в Б.И. № 1, 1992. – 3 с.
 11. А. с. № 1750859 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский – Заявлено 11.11.1990; Оpubл. в Б.И. № 28, 1992. – 3 с.
 12. А. с. № 1763103 СССР, МКИ В23С 3/00. Способ фрезерования [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский – Заявлено 23.05.1990; Оpubл. в Б.И. № 35, 1992. – 4 с.
 13. А. с. № 1771894 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский – Заявлено 01.02.1991; Оpubл. в Б.И. № 40, 1992. – 3 с.
 14. А. с. № 1780942 СССР, МКИ В23С 5/06. Сборная торцовая фреза [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленский – Заявлено 04.12.1990; Оpubл. в Б.И. № 46, 1992. – 4 с.
 15. Декларацийний патент на винахід UA № 18023, МПК 6 В23С5/06. Збірна торцева фреза [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленський, В.І. Козак – Оpubл. 17.06.1997. – 3 с.
 16. Декларацийний патент на винахід UA № 33197, МПК 6 В23С5/06. Збірна торцева фреза [Текст] / С.Г. Нагорняк, К.В. Зеленський, В.І. Козак – Оpubл. 15.02.2001, Бюл. № 1. – 3 с.

References

1. Nagornyak S.G. & Lutsiv I.V. (1992). Safety mechanisms of metal-working equipment: Directory. Kyiv, Ukraine: Tekhnika, 72 p.
2. Gygaх P.E. Dynamics of single-tooth milling. CIRP Annals, 1979, vol. 28, no. 1, pp. 65 – 70.
3. Nagornyak S. Synthesis of sectional cutters with elastic damping elements, S. Nagornyak, K. Zelenskyu. Proceedings of universities. Mechanical engineering. Moscow, USSR: 1991, no. 10 – 12, pp. 123 – 126.
4. Nagornyak S. Reduction of shock loads in machining with face milling cutters, S. Nagornyak, K. Zelenskyu. Informatization and new technologies. Kyiv, Ukraine: 1993, no. 1, pp. 30 – 31.
5. Nagornyak S. Machining of parts with small stiffness by two sectional cutters, S. Nagornyak, K. Zelenskyu. Informatization and new technologies. Kyiv, Ukraine: 1993, no. 2, pp. 18 – 19.
6. Nagornyak S. N-dimensional structural-scheme synthesis of system nodes on the examples of sectional cutters and couplings with elastic damping elements, S. Nagornyak, K. Zelenskyu. Assigned to the State Scientific Technical Library. Kyiv, Ukraine: 1996, no. 967-Ух96, 22 p.
7. Nagornyak S. Sectional cutters with adjustable time of the idling displacements of cutters, S. Nagornyak, K. Zelenskyu, V. Kozak. Bulletin of the Ivan Puluj Ternopil State Technical University. Ternopil, Ukraine: 2000, no. 5 (2), pp. 43 – 46.
8. Copyright certificate № 831426. Sectional cutter, S. Nagornyak. Bulletin of inventions. Moscow, USSR: 1981, no. 19, 3 p.
9. Copyright certificate № 852460. Sectional cutter, S. Nagornyak. Bulletin of inventions. Moscow, USSR: 1981, no. 29, 3 p.
10. Copyright certificate № 1703295. Sectional cutter, S. Nagornyak, K. Zelenskyu. Bulletin of inventions. Moscow, USSR: 1992, no. 1, 3 p.
11. Copyright certificate № 1750859. Sectional cutter, S. Nagornyak, K. Zelenskyu. Bulletin of inventions. Moscow, USSR: 1992, no. 28, 3 p.
12. Copyright certificate № 1763103. The method of machining with sectional cutters, S. Nagornyak, K. Zelenskyu. Bulletin of inventions. Moscow, USSR: 1992, no. 35, 4 p.
13. Copyright certificate № 1771894. Sectional cutter, S. Nagornyak, K. Zelenskyu. Bulletin of inventions. Moscow, USSR: 1992, no. 40, 3 p.
14. Copyright certificate № 1780942. Sectional cutter, S. Nagornyak, K. Zelenskyu. Bulletin of inventions. Moscow, USSR: 1992, no. 46, 4 p.
15. Declarative patent for invention № 18023. Sectional cutter, S. Nagornyak, K. Zelenskyu, V. Kozak. Bulletin of inventions. Kyiv, Ukraine: 1997, 3 p.
16. Declarative patent for invention № 33197. Sectional cutter, S. Nagornyak, K. Zelenskyu, V. Kozak. Bulletin of inventions. Kyiv, Ukraine: 2001, no. 1, 3 p.

Отримано 11.10.2017