

УДК 621.33

DOI 10.36910/6775.24153966.2021.71.32

Ів.Б. Гевко, Р.М. Рогатинський, М.Г. Левкович, В.М. Клендій, В.В. Гупка

*Тернопільський національний університет імені Івана Пулюя***СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ З ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИМ ОБґРУНТУВАННЯМ**

У результаті проведеного синтезу отримано прогресивну конструкцію гальмівного диска, оснащеного гальмівними колодками, яка: забезпечить впровадження принципу взаємозамінності використання гальмівних колодок для різних розмірів дисків; забезпечить полегшене проведення заміни гальмівних колодок на диску; зменшить частоту проведення заміни гальмівних колодок; забезпечить уникнення необхідності у ремонті (переточуванні при відносному зношенні) та заміни (при повному зношенні) гальмівних дисків; забезпечить отримання покращених гальмівних показників за рахунок контакту «фрикційний матеріал - фрикційний матеріал» при використанні фрикційних гальмівних колодок закріплених на гальмівному диску і фрикційних гальмівних колодок закріплених в супорті.

Ключові слова: синтез, гальмівний диск, фрикційний матеріал.

Ів.Б. Гевко, Р.М. Рогатинский, М.Г. Левкович, В.М. Клендий, В.В. Гупка

СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ ТОРМОЗНИХ СИСТЕМ С ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧЕСКИМ ОБОСНОВАНИЕМ

В результате проведенного синтеза получено прогрессивную конструкцию тормозного диска, оснащенного тормозными колодками, которая: обеспечит внедрение принципа взаимозаменяемости использования тормозных колодок для различных размеров дисков; обеспечит облегченное проведения замены тормозных колодок на диске; уменьшит частоту проведения замен тормозных колодок; позволит избежать необходимости в ремонте (переточке при относительном износе) и замены (при полном износе) тормозных дисков; обеспечит получение улучшенных тормозных показателей за счет контакта «фрикционный материал – фрикционный материал» при использовании фрикционных тормозных колодок закрепленных на тормозном диске и фрикционных тормозных колодок закрепленных в суппорте.

Ключевые слова: синтез, тормозной диск, фрикционный материал

I.Hevko, R. Rohatynsky, M.Levkovich, V.Klendiy, V.Gupka

STRUCTURAL SYNTHESIS OF BRAKE SYSTEMS WITH TECHNICAL AND ECONOMIC RATIONALE

As a result of the synthesis, a progressive design of a brake disc equipped with brake pads has been obtained, which: will ensure the introduction of the principle of interchangeability of the use of brake pads for different sizes of discs; will provide easy replacement of brake pads on the disc; reduce the frequency of brake pad replacements; will avoid the need for repair (regrinding with relative wear) and replacement (with full wear) of brake discs; will provide improved braking performance due to the contact "friction material - friction material" when using friction brake pads fixed on the brake disc and friction brake pads fixed in the caliper.

Keywords: synthesis, brake disc, friction material.

Питанням синтезу механічних систем присвячені праці Г.С.Альшуллера[1], А.В.Андрейчикова[2], Б.І. Кіндрацького[3], Ю.М. Кузнєцова[4], В.М. Одріна та С.С. Картавова[5], А.І. Половінкіна[6], та багатьох інших. Проте питанням синтезу автомобільних гальмівних систем з різними фізико-механічними властивостями, з метою отримання конструкцій з покращеними техніко-економічними характеристиками на сьогоднішній день недостатньо приділено уваги, що зумовлює потребу в подальших досліджень.

Метою роботи є проведення синтезу гальмівних систем методом морфологічного аналізу з використанням ієрархічного групування для отримання конструкцій з покращеними техніко-економічними характеристиками.

Для пошуку нових ідей по створенню прогресивних конструкцій гальмівних систем (ГС) використано модифікований варіант морфологічного аналізу [4], а саме, метод синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу [7]. Він дозволив отримати певну кількість рішень при проведенні генерування альтернатив на окремих ієрархічних рівнях у межах окремих конструктивних ознак елементів системи.

У результаті проведеного аналізу впливу різних факторів на процес гальмування шляхом

структурно-схемного синтезу із застосуванням морфологічного аналізу [4] було визначено обмежену кількість конструктивних ознак елементів та зв'язків між ними, на основні чого складено морфологічну матрицю у вигляді таблиці 1. Обрані наступні основні морфологічні ознаки: гальмівні диски, гальмівні барабани, системи приведення в рух та затиску гальмівних колодок. Даний варіант морфологічної моделі отримано внаслідок виділення функціонально важливих елементів з метою спрощення моделі, що дозволить мінімізувати кількість генерованих варіантів.

Таблиця 1

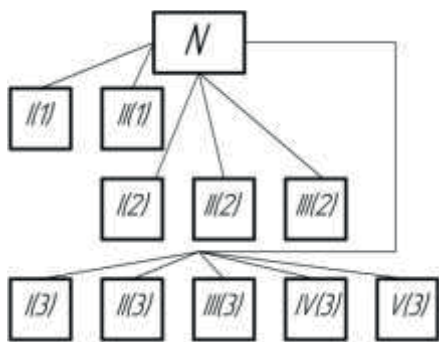
Морфологічна таблиця конструктивних ознак елементів гальмівної системи				
1. Гальмівні диски		ГАЛЬМІВНІ БАРАБАНИ		
		2. По контакту з гальмівними колодками	3. По конструкції	
1.1 Вентильовані 1.2. Невентильовані 1.3 Перфоровані 1.4. З радіальними канавками 1.5 Невентильовані з канавками 1.6 Вентильовані з прорізами 1.7 Вентильовано-перфоровані 1.8 Вентильовані з прорізами перфоровані 1.9. З вирізами під гальмівні колодки		2.1 По радіальній внутрішній поверхні 2.2 По радіальній зовнішній поверхні 2.3 По радіальній внутрішній та зовнішній поверхні 2.4 По торцевій поверхні 2.5 По радіально-торцевій поверхні 2.6 По кутовій внутрішній поверхні 2.7 По кутовій внутрішній та зовнішній поверхнях 2.7 По сферично-рідальній поверхні 2.8 По сферично-рідальній-торцевій поверхні 2.9 По фасонній поверхні	3.1 Суцільні 3.2. Перфоровані 3.3 З каналами	
СИСТЕМИ ПРИВЕДЕННЯ В РУХ ТА ЗАТИСКУ ГАЛЬМІВНИХ КОЛОДОК				
4. Головні циліндри	5. Підсилювачі	6. Розподільники	7. Супорти	8. Робочі циліндри
4.1. З механічним регулюванням 4.2. З електричним регулюванням 4.3. З Комбінованим регулюванням	5.1. Гідровакуумний 5.2. Електричний	6.1 Механічний 6.2 Електричний	7.1 Двохколодкові 7.2 Чотирьохколодкові	8.1 Одноштокові 8.2 Двохштокові
9. Гальмівні колодки		10. Проводи подачі навантаження	11. Гальмівна речовина	12. Системи контролю та стабілізації
9.1 Суцільні 9.2 З канавками поздовжніми 9.3 З канавками поперечними 9.4 Двох брускові 9.5 Багато-брускові 9.6. Двохсторонні		10.1. Електропроводи 10.1. Трубопроводи (шланги)	11.1 Електро-механічна 11.2 Рідина 11.3 Газова	12.1 АБС 12.2 ЕБД

При використанні запропонованого методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу морфологічну модель ГС (табл. 1) можна представити у вигляді морфологічної матриці, де кількість варіантів визначатиметься по формулі [7]:

$$N_1 = \sum_{z=1}^l \sum_{x=1}^q \prod_{i=1}^m K_i, \quad (1)$$

де z – ієрархічний рівень; l – кількість ієрархічних рівнів; x – певна підгрупа відповідного ієрархічного рівня; q – кількість підгруп відповідного ієрархічного рівня; K_i – альтернатива конструктивної ознаки елемента певної підгрупи відповідного ієрархічного рівня; m – кількість альтернатив конструктивної ознаки елементів певної підгрупи відповідного ієрархічного рівня.

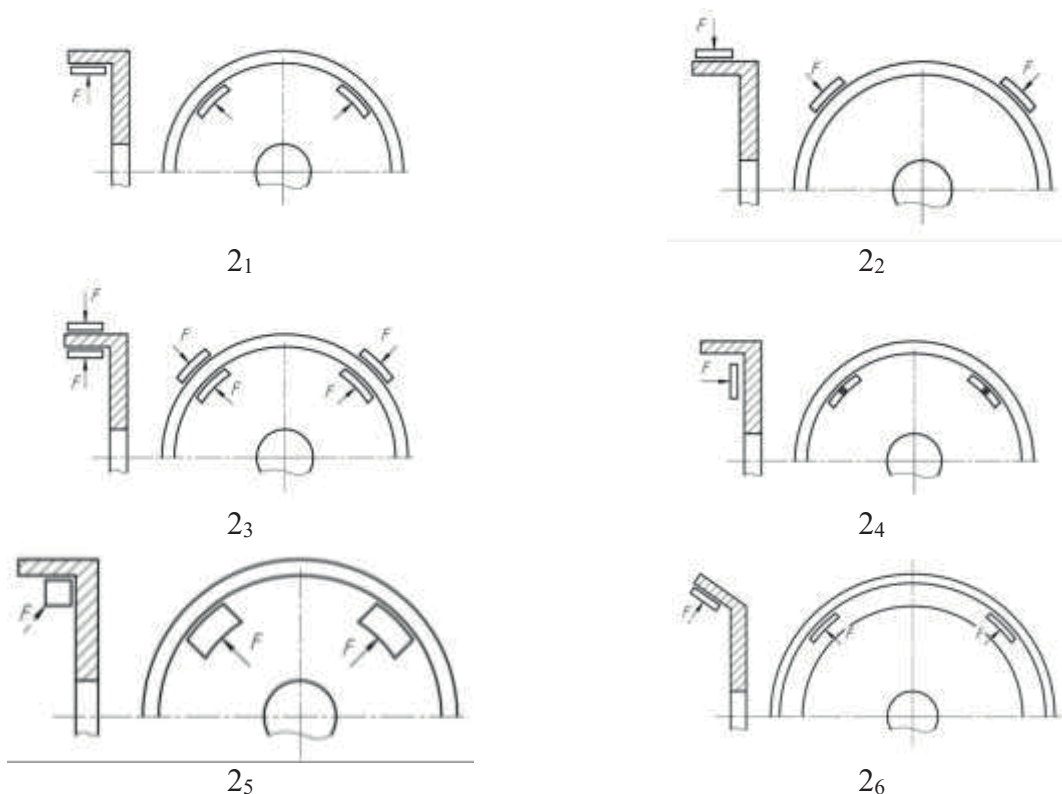
Згідно запропонованого групування до першого ієрархічного рівня моделі механічної системи «Гальмівна система» (рис. 1) слід віднести такі конструктивні елементи: 1 - гальмівні диски, 2 – гальмівні барабани (по контакту з гальмівними колодками) (рис. 2), 3 - гальмівні барабани (по конструкції), 9 - гальмівні колодки (рис. 3); до другого ієрархічного рівня: 4 – головні циліндри, 5 – підсилювачі, 6 – розподільники, 7 – супорти, 8 – робочі циліндри; до третього ієрархічного рівня: 10 – проводи подачі навантаження, 11 – гальмівна речовина, 12 – системи контролю та стабілізації



$$N_{II} = \sum_{z=1}^l \prod_{i=1}^m K_i = (8 \cdot 9 + 9) + (3 + 3 \cdot 2 + 2) + (2 + 2 + 2 + 3 + 2) = 103$$

I(1)1₁, I(1)1₂, I(1)1₃, I(1)1₄, I(1)1₅, I(1)1₆, I(1)1₇, I(1)1₈;
 I(1)9₁, I(1)9₂, I(1)9₃, I(1)9₄, I(1)9₅
 II(1)2₁, II(1)2₂, II(1)2₃, II(1)2₄, II(1)2₅, II(1)2₆, II(1)2₇, II(1)2₈,
 II(1)2₉;
 I(2)3₁, I(2)3₂, I(2)3₃;
 II(2)4₁, II(2)4₂, II(2)4₃;
 II(2)8₁, II(2)8₂;
 III(2)7₁, III(2)7₂;
 I(3)5₁, I(3)5₂;
 II(3)6₁, II(3)6₂;
 III(3)10₁, III(3)10₂;
 IV(3)11₁, IV(3)1₂, IV(3)11₃;
 V(3)12₁, V(3)12₂;

Рис. 1. Модель механічної системи «Гальмівна система»: I - V – підгрупи ієрархічного рівня; (1) - (3) – відповідні ієрархічні рівні



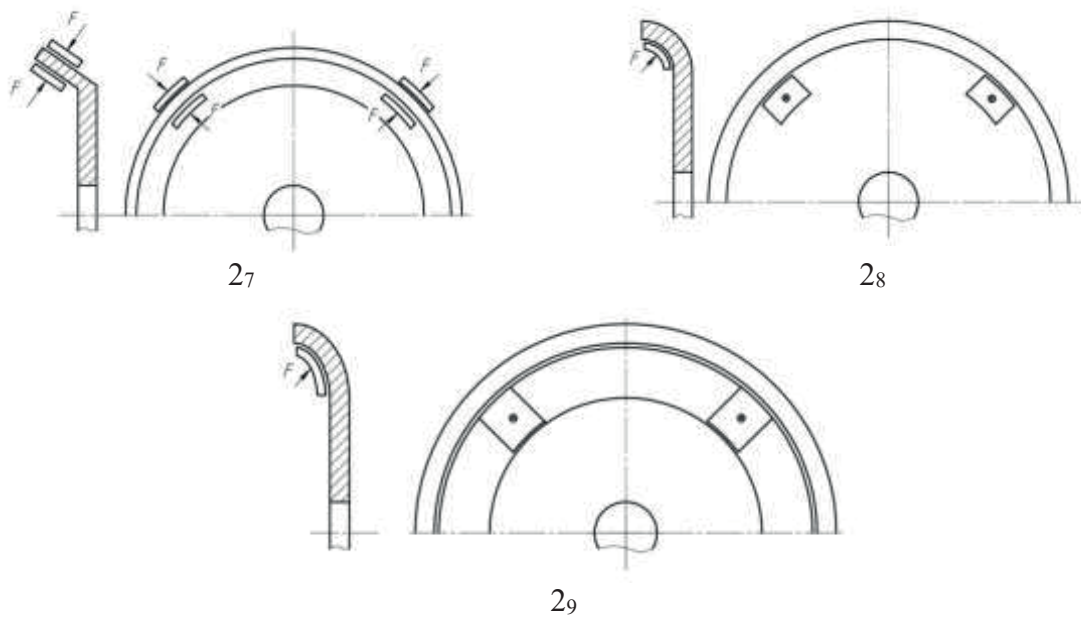


Рис. 2. Схеми варіантів конструкцій гальмівних барабанів по контакту з гальмівними колодками

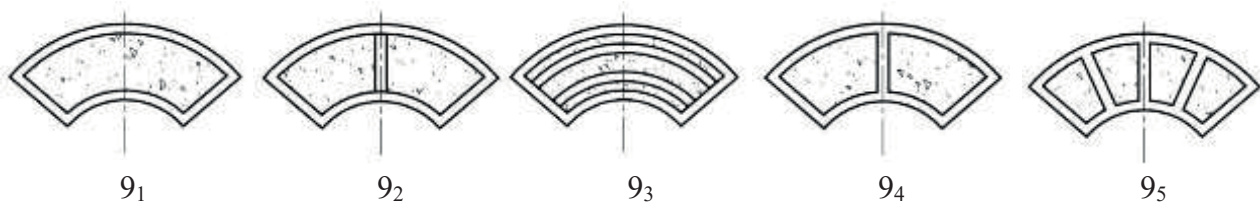


Рис. 3. Варіанти конструкцій гальмівних колодок

Використаємо наступну схему кодів конструктивних елементів ГС з використанням символу «і» (де «і» змінюється в межах від 1 до ∞): 1_i – гальмівні диски; 2_i – гальмівні барабани по контакту з гальмівними колодками; 3_i – гальмівні барабани по конструкції; 4_i – головні циліндри; 5_i – підсилювачі; 6_i – розподільники; 7_i – супорти; 8_i – робочі циліндри; 9_i – гальмівні колодки; 10_i – проводи подачі навантаження; 11_i – гальмівна речовина; 12_i – Системи контролю та стабілізації. Якщо в конструкції міститься декілька ідентичних конструктивних елементів, то їх кількість доцільно записати відповідним степенем, наприклад: два гальмівні диски - $(1_1)^2$, а якщо міститься декілька різних конструктивних елементів одного виду, то їх доцільно записати наступним чином: два робочі циліндри різного виду - $(8_1 \cup 8_3)$.

Якщо при синтезі альтернативних конструктивних варіантів ГС використовувати традиційний метод морфологічного аналізу, то кількість альтернатив становитиме:

$N = \prod_{j=1}^n K_j = 699840$ варіанти. Проведемо підрахунок генерованих альтернатив для обох підгруп

першого ієрархічного рівня. Так кількість альтернатив для першого ієрархічного рівня становитиме: $N_{(1)} = 8 \cdot 9 + 9 = 81$. Для другого ієрархічного рівня кількість альтернатив становитиме:

$N_{(2)} = 3 + 3 \cdot 2 + 2 = 11$, а для третього: $N_{(3)} = 2 + 2 + 2 + 3 + 2 = 11$. Загальна кількість варіантів ГС при використанні запропонованого методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу становитиме:

$N_{II} = \sum_{z=1}^l \prod_{i=1}^m K_i = 81 + 11 + 11 = 103$, що майже у 6795 разів є менше, ніж при використанні класичного методу синтезу допомогою морфологічного аналізу.

У результаті проведеного пошуку ідей по створенню прогресивних конструкцій гальмівних систем було синтезовано нові схеми варіантів конструкцій гальмівних барабанів по контакту з гальмівними колодками (рис. 2) та отримано прогресивну конструкцію гальмівного диска, оснащеного гальмівними колодками. На відміну від широко використовуваних автомобільних систем «гальмівний диск – супорт з гальмівними колодками», дана система є значно

ефективнішою, адже для процесу гальмування використовує гальмівні колодки, які закріплюються на гальмівному диску (рис. 3). Використання таких дисків може дозволити впровадити принцип взаємозамінності гальмівних колодок для різних розмірів дисків. Таке виконання дозволяє з легкістю проводити заміну гальмівних колодок прямо з диска і не потребує відведення супорту. До плюсів цієї системи відноситься зменшення частоти проведення заміни гальмівних колодок, адже їх робоча площа контакту значно збільшується у порівнянні з існуючим варіантом, а також уникнення необхідності у ремонті (переточуванні при відносному зношенні) та заміни (при повному зношенні) гальмівних дисків. Також при такому виконанні є можливість отримати покращені гальмівні показники, бо контакт між гальмівним диском з гальмівними колодками - «метал - фрикційний матеріал», можна замінити на контакт «фрикційний матеріал - фрикційний матеріал» при використанні фрикційних гальмівних колодок закріплених на гальмівному диску і фрикційних гальмівних колодок закріплених в супорті.

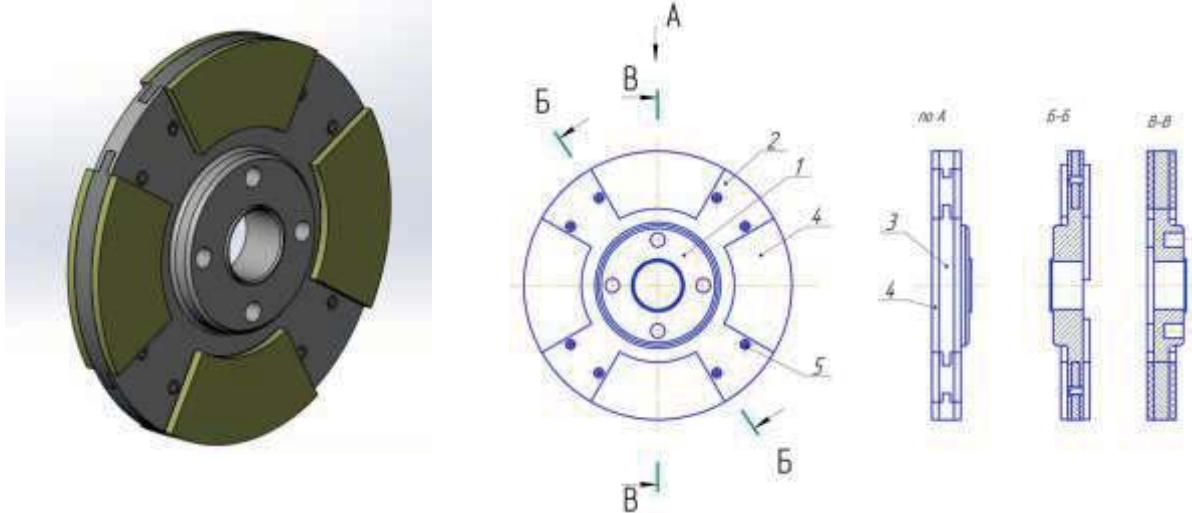


Рис. 4. Синтезована конструкція гальмівного диска

Наведемо коротку характеристику синтезованого гальмівного диска, оснащеного гальмівними колодками (рис. 4). Гальмівний диск 3 складається із частини 1, до якої кріпиться колесо, та пелюсток 2. Пелюстки 2 служать для закріплення гальмівних колодок 4 відомим способом (наприклад потайними гвинтами 5).

Проведемо короткий техніко-економічний підрахунок ефективності використання гальмівних дисків, оснащених гальмівними колодками.

Додаткові втрати. У порівнянні із існуючими варіантом виготовлення гальмівних дисків з пелюстками (вирізами) є дещо складнішим і потребуватиме додаткових технологічних операцій при виготовленні:

$$Z = k_1 \cdot \sum_{i=1}^n t_i \cdot (t_{c1} \cdot k_i \cdot k_n + B_{ел.ен.} \cdot N_i + B_{oi} \cdot K_a / T_\delta) , \quad (2)$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує витрати пов'язані із утриманням приміщень, адміністративного, допоміжного і обслуговуючого персоналу, заміну швидкозношуючого інструменту тощо при виготовленні диска; t_i – трудомісткість і-ї операції чи переходу, год.; t_{c1} – величина тарифної ставки робітника і-го розряду (грн.); k_i – тарифний коефіцієнт і-го розряду; k_n – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок (1,22); $B_{ел.ен.}$ – вартість 1 кВт/год. електроенергії для промислових та приватних до них споживачів; N_i – приведений обсяг споживання електроенергії обладнанням при виконанні операції чи переходу (кВт/год); B_{oi} – вартість обладнання, яке використовується у і-й операції чи переході, грн.; K_a – коефіцієнт амортизації; T_δ – дійсний час роботи обладнання протягом року (2070 год.).

Економія. Гальмівні диски з пелюстками, на відміну від існуючих, не потребуватимуть:

- необхідності у ремонті (переточуванні при відносному зношенні):

$$E_1 = k_2 \cdot \sum_{j=1}^m t_j \cdot t_{c2} \cdot k_j \cdot k_n + k_1 \cdot \sum_{i=1}^n t_i \cdot (t_{c1} \cdot k_i \cdot k_n + B_{ел.ен.} \cdot N_i + B_{oi} \cdot K_a / T_\delta) \quad (3)$$

де k_2 – коефіцієнт, що враховує витрати пов'язані із утриманням приміщень, адміністративного,

допоміжного і обслуговуючого персоналу, заміну швидкозношуючого інструменту тощо при здійсненні ремонтних операцій; t_j – трудомісткість j -ї розбірної-збірної операції, год.; t_{c2} – величина тарифної ставки j -го розряду (грн.); k_j – тарифний коефіцієнт ремонтника j -го розряду;

- заміни (при повному зношенні) гальмівних дисків, адже у них практично відсутнє зношування і вони використовуватимуться на протязі усього часу експлуатації автомобіля:

$$E_2 = k_2 \cdot \sum_{j=1}^m t_j \cdot t_{c2} \cdot k_j \cdot k_n, \quad (4)$$

При їх використанні буде зменшення частоти проведення заміни гальмівних колодок (E_3), адже їх робоча площа контакту значно збільшується у порівнянні з існуючим варіантом (зменшення частоти технологічних впливів з обслуговування та ремонту), що визначатиметься по формулі 4.

Їх використання забезпечить полегшений контроль стану гальмівної системи (E_4), при проведенні технічних оглядів (економія часу виконання контрольної операції), що визначатиметься по формулі 4.

Їх використання забезпечить полегшить заміну гальмівних колодок (E_5), прямо на дисках при відгвинченому колесі та відпадання необхідності відведення супорту (економія часу при заміні), що визначатиметься по формулі 4.

Отже, економічна ефективність використання згенерованого гальмівного диска, оснащеного гальмівними колодками, визначатиметься, як:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 - 3.$$

Висновки:

1. У результаті проведеного аналізу впливу різних факторів на процес гальмування шляхом структурно-схемного синтезу із застосуванням морфологічного аналізу було визначено обмежену кількість їх складових елементів та зв'язків між ними, які представляють конструктивні ознаки, на основні чого було синтезовано нові схеми варіантів конструкцій гальмівних барабанів по контакту з гальмівними колодками.

2. У результаті проведеного синтезу отримано прогресивну конструкцію гальмівного диска, оснащеного гальмівними колодками, яка: забезпечить впровадження принципу взаємозамінності використання гальмівних колодок для різних розмірів дисків; забезпечить полегшене проведення заміни гальмівних колодок на диску; зменшить частоту проведення заміни гальмівних колодок; забезпечить уникнення необхідності у ремонті (переточуванні при відносному зношенні) та заміни (при повному зношенні) гальмівних дисків; забезпечить отримання покращених гальмівних показників за рахунок контакту «фрикційний матеріал - фрикційний матеріал» при використанні фрикційних гальмівних колодок закріплених на гальмівному диску і фрикційних гальмівних колодок закріплених в супорті.

Список використаної літератури.

1. Альтшуллер Г. С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач / Г. С. Альтшуллер. – Новосибирск : Наука, 1986. – 209 с.
2. Андрейчиков А. В. Интеллектуальный метод синтеза технологических инноваций / А. В. Андрейчиков // Известия вузов. Сер. Машиностроение. – 2003. – №10. – С. 47-62.
3. Кіндрацький Б. І. Концепція і алгоритм багатокритеріального структурно-параметричного синтезу машинобудівних конструкцій / Б. І. Кіндрацький // Вісник ТДТУ. – 2003. – Т. 8. – № 1. – С. 73–82.
4. Кузнецов Ю. М. Прогнозування розвитку технічних систем / [Ю. М. Кузнецов, Р. А. Склярів]; підзаг. ред. Ю. М. Кузнецова. – К. : ТОВ «ЗМОК». – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.
5. Одрин В. М. Морфологический анализ систем: Построение морфологических матриц / В. М. Одрин, С. С. Картавов. – К. : Наукова думка, 1977. – 183 с.
6. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества: [учеб. пособие для студентов вузов] / А. И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
7. Рогатинський Р.М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів: монографія / Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.Є. Дячун. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 280 с.