

Створення, охорона, захист і комерціалізація об'єктів права інтелектуальної власності:
матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю,
присвяченої Міжнародному дню інтелектуальної власності.
(м. Київ, 25 квітня 2025 р.): ел. збірник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025

УДК 608.1/3(075.347.77)

МЕТОД МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ- СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ТВОРЧИХ ЗАДАЧ

Ю.М. Кузнєцов

д.т.н., професор кафедри конструювання машин КПІ ім. Ігоря
Сікорського (м. Київ).

ORCID-0000-0002-5107-3600

***Анотація.** Розглянута класифікація методів розв'язання творчих задач, серед яких основна увага привернута до методу морфологічного аналізу з наведенням прикладів його застосування.*

***Ключові слова:** морфологічний аналіз, активізація творчості, винахідницька діяльність*

METHOD OF MORPHOLOGICAL ANALYSIS - A SYSTEMATIC APPROACH TO SOLVING CREATIVE PROBLEMS

Yu.N. Kuznetsov

Dr.Sc. (Technology), Professor, Department of Machine Design, Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute (Kyiv).

ORCID-0000-0002-5107-3600

***Abstract.** The classification of methods for solving creative problems is considered, among which the main attention is paid to the method of morphological analysis with examples of its application.*

***Keywords:** morphological analysis, activation of creativity, inventive activity*

Відома класифікація методів пошуку технічних рішень, що містить:

1. **Системні (комбінаторні або гібридні)**, що спрямовані на послідовний перебір усіх можливих варіантів вирішення і побудовані на принципах аналізу

побудови та особливостей об'єкта (приклад – метод морфологічного аналізу).

2. Асоціативні (психологічна активізація творчості), що передбачають генерування ідей при психологічному подоланні інерції мислення і становлять безсистемний пошук вирішення задач (приклади – метод фокальних об'єктів і мозкового штурму).

3. Програмні (алгоритмічні), що забезпечують цілеспрямований рух до вирішення технічних і фізичних суперечностей у відомих об'єктах та їх подальше подолання (приклади – алгоритм розв'язання винахідницьких задач Г. С. Альтшуллера і узагальнений евристичний метод О.І. Половинкіна).

4. Комбіновані як сполучення перших трьох груп методів (приклад – метод функціонально-вартісного аналізу Х. Еберта та К. Томаса).

5. Спеціалізовані для розв'язання задач під час створення певного типу об'єктів (приклад – диференціально-морфологічний метод синтезу затискних механізмів Ю.М. Кузнєцова).

Морфологічний аналіз базується на класифікації форм об'єкта і належить до найбільш поширених методів пошуку нових рішень.

Термін "морфологія" (вчення про форму: від грецького *morphe* – форма і *logos* – вчення) увів у 1796 році Гете – основоположник вчення про форму й будову рослин і тварин – морфології організмів. Це не єдиний випадок, коли творчість поета дістала широке визнання і розповсюдження в багатьох науках: у подальшому з'явилися морфологія людини, морфологія ґрунтів тощо.

Для розв'язання технічних задач морфологічний аналіз вперше було використано швейцарським астрономом Ф. Цвіккі, якого у 1942 р. було залучено американською фірмою "Аероджент інжинірінг корпорейшен" до участі в ракетних дослідженнях і який побудував морфологічну матрицю (скриньку) для ракетних двигунів, що працюють на хімічному паливі. Ця матриця містила 576 важливих варіантів, серед яких були схеми секретних тоді німецьких літаків-снарядів ФАУ-1 і ракети ФАУ-2. А в 1951 р. він склав

морфологічну матрицю, яка містила вже 36 884 типи реактивних двигунів.

Метод морфологічного аналізу спрямований на послідовний перебір усіх можливих варіантів рішення і є яскравим прикладом системного підходу до вирішення творчих задач.

Мета методу – системно досліджувати всі можливі варіанти рішення задач, які впливають із закономірностей будови (морфології) об'єкта – технічної системи (ТС), що удосконалюється, і тим самим врахувати, крім відомих, незвичні варіанти, які під час простого перебору могли бути знехтувані.

Ідея методу – відійти в зону, далеку від того, що лежить на виду.

Суть методу полягає в тому, що в ТС, що удосконалюється, виділяють декілька характерних для неї структурних, морфологічних ознак, за кожною з яких складають максимально повний перелік різних конкретних варіантів (альтернатив) технічного вираження використання цих ознак. Таким чином, кожна ознака може характеризувати певний конструктивний вузол (елемент структури) ТС, певну функцію (або зв'язок між елементами), якийсь режим роботи (або стану) ТС, певну форму взаємодії вузлів (елементів), тобто параметри, характеристики ТС, від яких залежить вирішення проблеми і досягнення основної мети.

Ознаки з їх альтернативами розташовують у вигляді таблиці, яка зветься морфологічною моделлю (скринькою, матрицею, картою або таблицею), що дає змогу краще уявити пошукове поле. Матриці можуть бути записані в буквеному або цифровому вигляді по рядках і колонках:

Перевага методу – його багатоваріантність. Оскільки метод засновано на використанні морфології об'єктів, він дає змогу організувати простір (обшир) змін об'єкта (морфологічний ящик) і систематично його аналізувати. При цьому на відміну від простого перебору виключається пропуск якихось варіантів, що дає змогу подолати інерцію мислення фахівців, знайти оригінальні рішення на

неосязній (неоглядній) у розумінні повного перебору множини (поля).

До **недоліків** методу належить те, що поряд з реально можливими комбінаціями варіантів характеристик (або ознак) морфологічна матриця має й несумісні варіанти. Поки що не розроблено апарату вибору допустимих рішень з множини варіантів. Наразі для вирішення цієї задачі здійснюються спроби використання, в т.ч. і штучного інтелекту.

Частіше за все виявляється, що робочі характеристики ТС, в основу побудови якої покладена невідома раніше комбінація елементів (ознак), більшою чи меншою мірою є невизначеними, що залежить від ступеня відходу від існуючого рівня розвитку техніки.

Область застосування методу – вирішення технічних задач, які належать об'єкту (ТС) у цілому за наявності повної інформації про об'єкт (ТС) і спрямовані на удосконалення об'єкта (ТС). Застосовування методу вимагає систематизованого логічного мислення. Найбільш доцільна область використання методу – вирішення конструкторських задач загального плану (компонування і проектування машин, їх вузлів, механізмів, технологічного оснащення, інструментів, пошук технологічних або фізичних принципів, схем, способів формоутворення тощо).

Відоме використання методу морфологічного аналізу не тільки в машинобудуванні, але і в електротехніці, енергетиці, при створенні космічної техніки, в металургії, біології і сільському господарстві, в побуті і навіть у літературі й мистецтві.

Метод можна використовувати для прогнозування розвитку ТС, для визначення можливості патентування в тому чи іншому абстрактному вигляді комбінацій основних параметрів з метою "заблокувати" можливі майбутні винаходи, що буде проілюстровано далі на прикладах. І це не повний перелік можливих випадків застосування методу. Наприклад, за двома ознаками (любов і професійність) людська діяльність поділяється на 4 види:

- 1) без любові (-Л) і непрофесійно (-П) - ХАЛТУРА;
- 2) без любові (-Л) і професійно (+П) - РЕМЕСЛО;
- 3) з любов'ю (+Л) і непрофесійно (-П) - ХОББИ;
- 3) з любов'ю (+Л) і професійно (+П) – МИСТЕЦТВО.

Розрізняють **п'ять послідовних етапів** морфологічного аналізу: 1) точне формулювання задачі (проблеми), яка відображає основну вимогу до об'єкта; 2) розподіл об'єкта на функціональні елементи (ознаки) зі складанням списку усіх морфологічних ознак і вимог до них, тобто усіх важливих характеристик об'єкта, його параметрів, від яких залежать вирішення проблеми і досягнення основної мети; 3) незалежний розгляд усіх елементів (ознак) і вибір для кожного певного набору різних варіантів реалізації, тобто складання всіх можливих варіантів за кожною характеристикою незалежно і побудова морфологічної моделі (таблиці, ящика, матриці); 4) аналіз функціональної цінності рішень, які випливають з матриці з визначенням цінності всіх одержаних варіантів, тобто синтез варіантів об'єкта; 5) вибір найбільш раціональних варіантів конкретних рішень, тобто вибір кращих сполучень згідно із заданим критерієм. Розглянемо особливості виконання кожного етапу.

Приклад застосування методу морфологічного аналізу

Етап 1. Запропонувати варіанти виконання швидкохідних підшипників і вибрати краще рішення по швидкохідності з урахуванням сприйняття радіального навантаження.

Етап 2. Формуємо основні ознаки підшипника (рис. 1):

1 – кільце зовнішнє **КЗ**; 2 – проміжне середовище **С**; 3 – кільце внутрішнє **КВ**; 4 – елементи допоміжні **ЕД**; 5 – сприйняття навантаження **Н**.

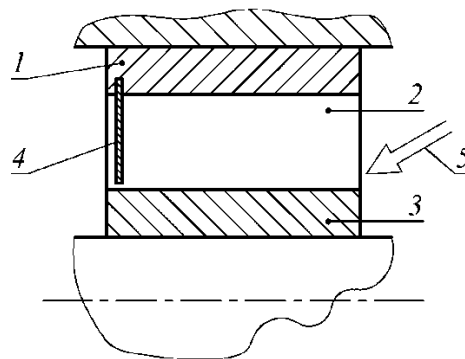


Рис.1. Основні ознаки підшипника

Етап 3. Будуємо морфологічну таблицю схем підшипників (табл.1).

Таблиця 1. Морфологічна таблиця схем підшипників

1 – КЗ	2 – С	3 – КВ	4 – ЕД	5 – Н
1.1. Циліндр. 1.2. Конічне всередині. 1.3. Сферичне всередині. 1.4. Немає.	2.1. Кульки. 2.2. Ролики циліндричні. 2.3. Ролики конічні. 2.4. Рідина під тиском. 2.5. Повітря під тиском. 2.6. Магнітне поле. 2.7. Немає.	3.1. Циліндр. 3.2. Конічне зовні. 3.3. Конічне всередині. 3.4. Немає.	4.1. Сепаратор. 4.2. Сепаратор і захисне кільце. 4.3. Сепаратор і два захисних кільця. 4.4. Немає.	5.1. Радіальне. 5.2. Осьове. 5.3. Радіальне та осьове.

Згідно з табл. 1 складемо морфологічну матрицю в цифровому вигляді

$$M_{cx} = \begin{vmatrix} 1.1 & 2.1 & 3.1 & 4.1 & 5.1 \\ 1.2 & 2.2 & 3.2 & 4.2 & 5.2 \\ 1.3 & 2.3 & 3.3 & 4.3 & 5.3 \\ 1.4 & 2.4 & 3.4 & 4.4 & \\ & 2.5 & & & \\ & 2.6 & & & \\ & 2.7 & & & \end{vmatrix}.$$

Загальна кількість варіантів можливих схем підшипника становить:

$$N = 4 \cdot 7 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 3 = 1344.$$

Етап 4. Аналізуємо деякі із схем підшипників, які отримані як сполучення альтернатив кожної ознаки табл. 2.4 і записані у вигляді морфологічних формул:

$$X_1 \rightarrow 1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1;$$

$$X_2 \rightarrow 1.1 - \mathbf{2.4} - 3.1 - \mathbf{4.4} - 5.1;$$

$$X_3 \rightarrow 1.1 - \mathbf{2.5} - 3.1 - \mathbf{4.4} - 5.1;$$

$$X_4 \rightarrow 1.1 - \mathbf{2.6} - \mathbf{3.4} - \mathbf{4.4} - 5.1.$$

Примітка: Жирним виділені альтернативи, які відміні від варіанту X_1

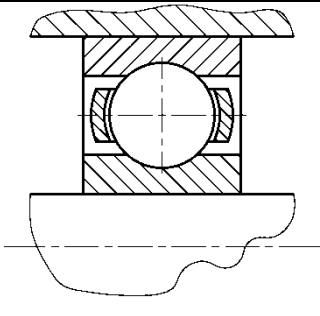
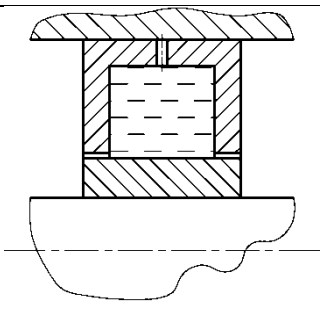
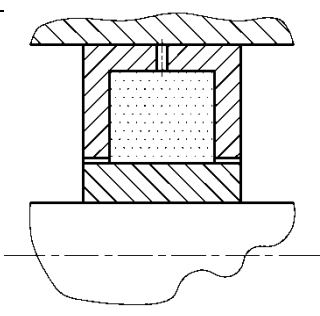
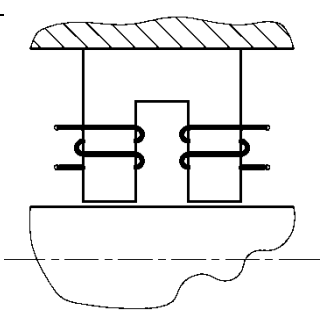
Результати аналізу для наочності зведені в табл. 2.

У табл. 2 варіанти відомих підшипників, які сприймають радіальне навантаження, розташовані в порядку збільшення максимальних значень частот обертання, а саме: $X_1 - n = (5 \dots 10) \cdot 10^3$ об/хв, $X_2 - n = (10 \dots 15) \cdot 10^3$ об/хв, $X_3 - n = (50 \dots 100) \cdot 10^3$ об/хв і $X_4 - n = (100 \dots 800) \cdot 10^3$ об/хв.

Французька фірма "Сосьє де механік магнетік" виготовила магнітний підшипник вартістю 100 тис. USD і $n = 800 \cdot 10^3$ хв⁻¹. За іронією долі одна з перших застосувала магнітні підшипники (муфти) вартістю 3 тис.USD японська фірма "Сейко" в ультрапрецизійних машинах (верстатах) з ЧПК для виготовлення кулькових підшипників підвищеної точності і швидкохідності.

Етап 5. Із синтезованих варіантів підшипників для вибору найкращого варіанта за ознакою швидкохідності треба враховувати й інші критерії (наприклад, складність конструкції, собівартість виготовлення тощо), тобто розв'язувати багатокритеріальну задачу вибору, що потребує додаткової інформації й використання одного з методів прийняття рішення (часто в умовах неповної або невизначеної вихідної інформації).

№ п/п	Позначення	Схема підшипника	Сполучення альтернатив ¹	Назва підшипника
----------	------------	------------------	--	---------------------

1	X_1		1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1	Кульковий радіальний
2	X_2		1.1 – <u>2.4</u> – 3.1 – <u>4.4</u> – 5.1	Гідростатичний радіальний
3	X_3		1.1 – <u>2.5</u> – 3.1 – <u>4.4</u> – 5.1	Аеростатичний радіальний
4	X_4		1.1 – <u>2.6</u> – <u>3.4</u> – <u>4.4</u> – 5.1	Магнітний радіальний

Таблиця 2.2. Синтезовані схеми підшипників за ознакою швидкохідності

Для варіантів 2–4 підкреслені нові альтернативи порівняно з варіантом 1.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов Ю.Н. Морфологический синтез станков и их механизмов: монография /Ю.Н.Кузнецов, Герра Ж.А.Хамуйела, Т.О.Хамуйела; под ред.Кузнецова.-К.: ООО «ГНОЗИС», 2012.-416 с.
2. Кузнецов Ю.М. Теорія розв'язання творчих задач. – К.: ТОВ «ЗМОК»- ПП «ГНОЗИС», 2003. – 294 с.

Створення, охорона, захист і комерціалізація об'єктів права інтелектуальної власності:
матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю,
присвяченої Міжнародному дню інтелектуальної власності.
(м. Київ, 25 квітня 2025 р.): ел. збірник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025

3. Хамуйела Ж.А.Герра. Генетико-морфологический синтез зажимных патронов: /Ж.А.Герра Хамуйела, Ю.Н.Кузнецов, Т.О.Хамуйела; под ред. Ю.Н.Кузнецова. – Луцк: Вэжа-Друк, 2017. – 328 с.

4. Zwicky F. Discovery, invention, research through the morphological approach /F.Zwicky. – Toronto; New York; MeMillan, 1969.