

**Володимир Олександрович Кравець¹, Олександр Михайлович Кравець²,
Сергій Вікторович Лапковський³, Володимир Костянтинович Фролов⁴,
Сергій Петрович Сапон⁵, Василь Петрович Приходько⁶**

¹інженер кафедри конструювання машин

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (Київ, Україна)

E-mail: bond118@meta.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0005-6867-4858> **ResearcherID:** [ITU-8413-2023](https://orcid.org/0009-0005-6867-4858)

²кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання машин

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (Київ, Україна)

E-mail: om.kravets@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7468-0956> **ResearcherID:** [IUQ-7186-2023](https://orcid.org/0000-0002-7468-0956)

³кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (Київ, Україна)

E-mail: Lapkovsky@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9870-9231> **ResearcherID:** [HCH-3837-2022](https://orcid.org/0000-0002-9870-9231)

⁴кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (Київ, Україна)

E-mail: v.k.frolov@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3697-286X> **ResearcherID:** [ACH-0071-2022](https://orcid.org/0000-0002-3697-286X)

⁵кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (Київ, Україна)

E-mail: s.sapon@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1082-6431> **ResearcherID:** [IZE-2184-2023](https://orcid.org/0000-0003-1082-6431)

⁶кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (Київ, Україна)

E-mail: privas0718@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1852-3777> **ResearcherID:** [HDM-7277-2022](https://orcid.org/0000-0003-1852-3777)

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ АНАЛОГІЙ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ АДАПТИВНИХ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ

Стаття присвячена застосуванню методу аналогій при проєктуванні адаптивних захватних пристроїв промислових роботів. Як аналоги використано конструкції та принцип дії лещат із різною конфігурацією та конструктивним виконанням затискових губок для адаптації до геометрії поверхонь об'єкта, який необхідно затиснути. Запропонована методика проєктування дозволяє в систематизованому вигляді охоплювати не тільки вже наявні на виробництві конструкції адаптивних захватних пристроїв, але і знайти такі, створення яких можливе, а в багатьох випадках навіть доцільне. Наведено оригінальні конструкції адаптивних захватних пристроїв, розроблені авторами.

Ключові слова: захватний пристрій; адаптивний; промисловий робот; конструкція; проєктування; метод аналогій; лещата; фрактальні; захоплення; губки.

Рис.: 10. Бібл.: 34.

Актуальність теми дослідження. Поняття «адаптація» (від латинського *adapto* – пристосовую) спочатку розглядалося як медичне або біологічне. Однак науково-технічний прогрес, стрімкий розвиток різноманітних технологій та технічних систем привернули увагу до адаптації фахівців різних галузей: інженерів і психологів, соціологів і педагогів. Поняття «адаптація» зараз цілком можна вважати як загальнонаукове, що сприяє синтезу знань, які відносяться до різних наукових об'єктів, та використовується представниками багатьох наук. Так, з появою такої науки, як кібернетика, у якій як механізм адаптації розглядався від'ємний зворотний зв'язок, набули широкого поширення такі поняття, як «адаптивне керування», «адаптивна система», «адаптивний фільтр» тощо.

Поняття «адаптація» не оминуло і такої галузі, як робототехніка. Наразі доволі часто вживаються такі поняття, як «робот з адаптивним керуванням», «адаптивний робот», «адаптивний захватний пристрій» (АЗП) тощо.

За даними звіту IFR – Міжнародної федерації робототехніки – за останні роки маніпулювання (Handling) об'єктами є найбільш роботизованою операцією серед сфер застосування промислових роботів (рис. 1) [1-3].

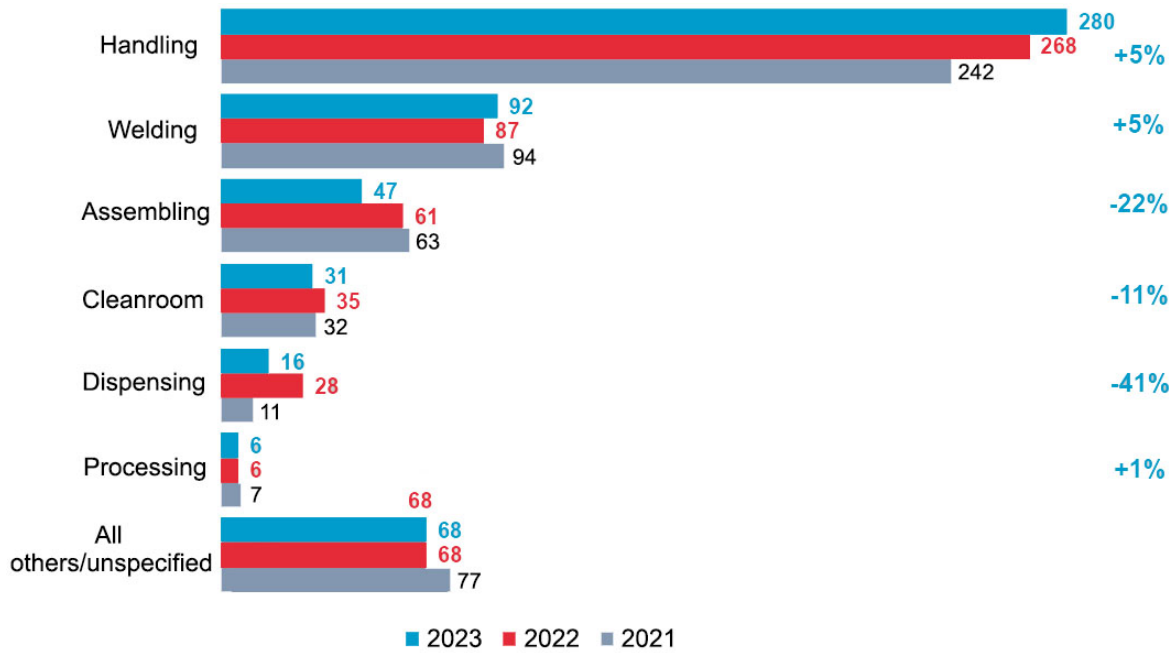


Рис. 1. Річна кількість інсталяцій промислових роботів за сферами застосування [1]

На рис. 2 наведено систематизовані статистичні дані за 2020-2023 роки щодо кількості інсталяцій промислових роботів (ПР) у галузі механічної інженерії, зокрема при маніпулюванні, складанні, зварюванні предметів виробництва.

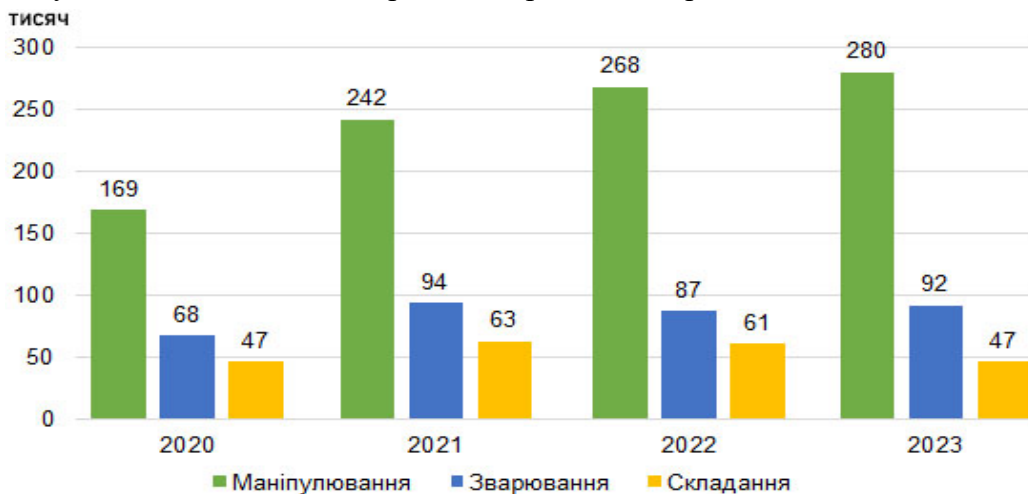


Рис. 2. Статистичні дані по кількості інсталяцій промислових роботів у галузі механічної інженерії

Джерело: розроблено авторами.

Слід зауважити, що в порівнянні з 2021 роком, протягом 2022-2023 років кількість інсталяцій промислових роботів у зварюванні та складанні мала тенденцію до зниження, тоді як у маніпулюванні вона зростала. Порівняно з 2020 роком зростання становить 65 % (рис. 2) [1-3].

Зрозуміло, що роботизоване маніпулювання об'єктами виробництва можливе тільки тоді, коли промисловий робот оснащений захватним пристроєм (ЗП). Таким чином, розвиток теорії проектування конструкцій АЗП є досить актуальним.

Постановка проблеми. Останні технологічні досягнення дозволяють ПР, які оснащені ЗП, виконувати дуже багато завдань, що традиційно були притаманні руці людини, дозволяючи використовувати ЗП у широкому діапазоні захвату та утримання

об'єктів виробництва (ОВ). Залежно від застосування, ідеальна конструкція ЗП повинна бути адаптована до багатьох видів ОВ. Однак, попри різноманіття ЗП, які зараз доступні на ринку, є багато завдань, які важко або навіть неможливо виконати наявними ЗП. Тому є попит на нові конструкції АЗП, які здатні конкурувати з людською рукою. Не викликає сумніву, що проблема створення нових конструкцій АЗП існує і, як уже було зазначено, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У результаті аналізу інформаційних джерел складається таке враження, що нині створення нових АЗП набуло статус повністю самостійної задачі синтезу конструкцій, яка вирішується на базі використання та створення принципово нових програмних і технічних засобів. Саме з цієї причини в останні роки питанням створення принципово нових конструкцій ЗП було присвячено досить багато публікацій та наукових досліджень як українських, так і закордонних авторів [4-9]. За цією темою доволі цікавих публікацій вітчизняних авторів, на жаль, не так вже і багато. До таких робіт вітчизняних учених насамперед слід віднести такі наукові праці, як [4-8]. Але треба відзначити, що в роботах [4; 6; 7] стосовно ЗП наведена практично однакова, інколи застаріла інформація, а інформація щодо створення АЗП практично відсутня. Найбільш ґрунтовними та цінними роботами, на нашу думку, слід вважати роботи [5; 8].

З дослідженнями та публікаціями закордонних авторів зовсім інша ситуація: питанню проектування та дослідження АЗП присвячено дуже багато праць. Так, тільки у роботі [9] науковців з Університету Вісконсин-Мілуокі (США) під назвою „Current Designs of Robotic Arm Grippers: A Comprehensive Systematic Review” у списку використаної літератури наведено 98 посилань з досліджуваного питання, 76 з яких (78 %) були опубліковані за останні 10 років.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Цілком очевидно, що наразі методологія проектування нових конструкцій АЗП повинна вийти за рамки вирішення суто конструкторських задач проектування ЗП. Вона повинна включати глибоке та всебічне дослідження можливості адаптації конструкції ЗП до різних можливих ситуацій і сфер застосування. Аналіз останніх публікацій, які були присвячені конструкціям АЗП, дозволяють дійти до висновку, що проблема обґрунтованого вирішення задачі проектування нових конструкцій АЗП вирішена лише частково.

Метою статті є представлення можливостей застосування методу аналогій при вдосконаленні методики проектування нових конструкцій адаптивних захватних пристроїв для об'єктів зі складною формою захоплюваних поверхонь.

Виклад основного матеріалу. Метод аналогій є одним із найуніверсальніших і водночас простих евристичних прийомів пошуку нових ідей та оригінальних рішень творчих задач. Вперше аналогію як ефективний засіб творчого вирішення задач у 1952 році почав використовувати американський психолог Вільям Джеймс Гордон [10-14]. Аналогію він поклав в основу свого методу, який назвав «Синектика» [12]. Гордон виділяв чотири види аналогій: пряму, особисту (суб'єктивну), символічну та фантастичну. Основні гіпотези та ідеї синектики народилися під час досліджень винахідницької та художньої творчості, які Гордон проводив ще з 1944 року. Основні ж принципи та правила синектики були розроблені Вільямом Джейсоном Гордоном і його колегою Джорджем Мезером Принсем у період між 1950 і 1960 роками, коли вони разом працювали в консалтинговій компанії Invention Design Group в Arthur D. Little (ADL). У 1961 році Гордон і Принс створили нову компанію під назвою Syntecticsworld (Syntectics Inc.), яка займалася дослідженнями винахідницької творчості та творчими тренінгами. Ефективність використання методу синектики підтверджує той факт, що клієнтами їх консалтингової компанії були такі всесвітньовідомі корпорації, як General Electric, IBM, Remington Arms, Singer Corporation та багато інших.

Як самостійний метод аналогій був описаний мальтійським і британським психологом та винахідником Едвардом де Боно у роботі [15]. Даний метод є реалізацією прямої аналогії Гордона. Пряма аналогія розуміється, як пошук проектних рішень, що заснований на порівнянні об'єкта, який необхідно вдосконалити, з об'єктами, подібними за змістом, формою, функціями в інших областях. Вона передбачає розгляд творчих методів, що застосовуються в інших сферах діяльності при вирішенні аналогічних завдань.

На рис. 3 наведена схема порівняння функцій лещат і ЗП промислових роботів.

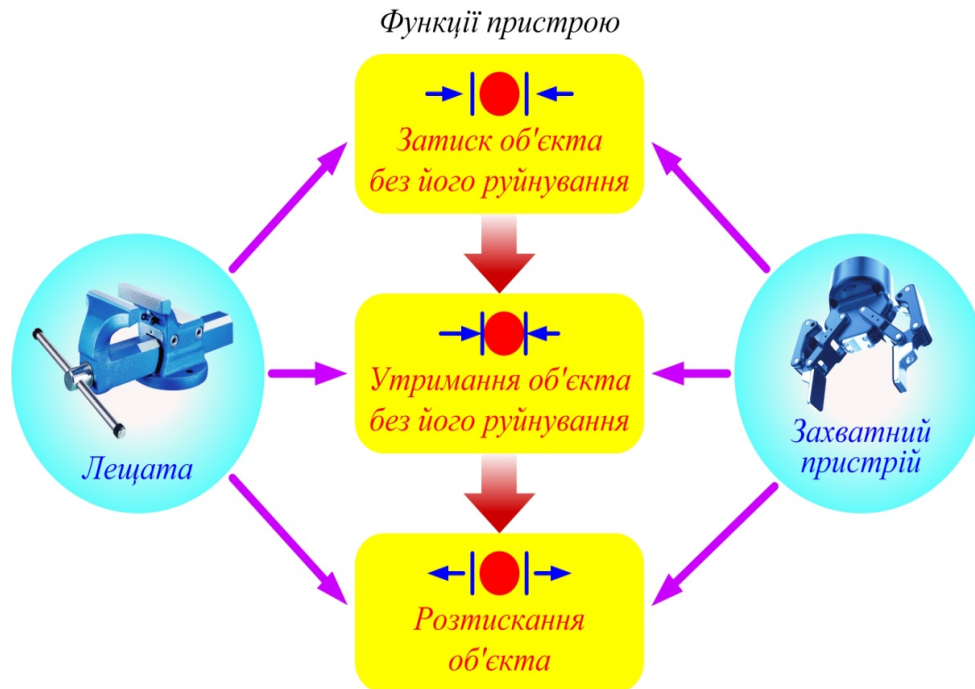


Рис. 3. Схема порівняння функцій лещат і ЗП промислових роботів

Джерело: розроблено авторами.

Аналіз цієї схеми надає можливість зробити висновок, що функції лещат абсолютно ідентичні функціям ЗП промислових роботів. Це означає, що при проектуванні нових конструкцій АЗП можна використовувати аналогічні проектні рішення, що були знайдені при проектуванні елементів конструкцій лещат.

Зрозуміло, що лещата як механізм набагато старіші, ніж ЗП промислових роботів. Дата їх виникнення достеменно не відома. Спочатку затиск заготовок у лещатах здійснювався за допомогою клина та молотка. Головним недоліком такого затиску було те, що рухомі губки лещат можна було направляти лише радіально. Наступним кроком у розвитку цього пристрою в середньовіччі стала заміна принципу затиску за допомогою різьби.

Так, одна з перших ілюстрацій таких лещат наведена на дерев'яній гравюрі Айзенхютса 1471 року, яка дотепер зберігається у Герцогській бібліотеці міста Гота (Німеччина) [16].

Ще одна з найперших згадок про подібні лещата наведена в Кодексі Льоффельхольця 1505 року – домашній книзі нюрнберзького патриція та лицаря Мартіна Льоффельхольця фон Кольберга – рукописі, що містить опис та ілюстрації унікальних інструментів і обладнання для ремонту, ведення війни та полювання [17]. Подвійні гвинтові лещата також з'являються в книгах для деревообробників кінця XVII століття Фелібієна (1667 рік), Моксона (1678 рік) та Рендла Холма (1688 рік) [16].

Але є ще одне середньовічне зображення, на якому наведений пристрій, який дуже схожий на великі подвійні гвинтові лещата, або суміш одnogвинтових лещат з паралельною напрямною – цей італійський малюнок датується приблизно 1300 роком

[16]. І лише через кілька століть, а саме у 1750 році, з'явилися нові паралельні лещата, у яких рухомі губки рухаються поступально завдяки спеціальним напрямним горизонтальним пазам [18-20] – це стало ключовим етапом еволюції лещат.

Треба зазначити, що в ті часи всі лещата виготовлялися з дерева, і тільки в 1830 році в Англії були виготовлені перші чавунні лещата [18-20].

Аналіз вищенаведеної еволюції конструкцій лещат однозначно вказує на те, що вона була спрямована передусім на покращення конструкції останніх і жодної спроби адаптації конструкції лещат щодо об'єктів, які затискаються по криволінійним поверхням, на той час не здійснювалось. Підтвердженням цьому є той факт, що на всіх схемах і креслениках лещат того часу останні були наведені тільки з плоскими губками, тобто всі вони були призначені лише для затиску деталей виключно по плоским поверхням. Пізніше почали з'являтися лещата з універсальними губками, що надало можливість затискати деталі по циліндричним поверхням (патент Бенджаміна Ф.Стівенса, 1880 рік) (рис. 4) [21].

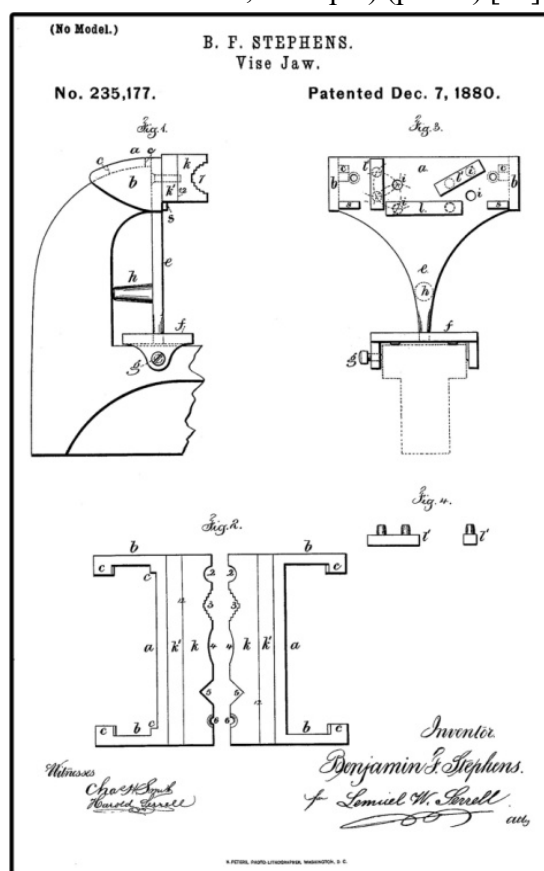


Рис. 4. Ілюстрація патенту Бенджаміна Ф. Стівенса (US Patent: 235,177) [21]

На початку минулого століття багатовікова проблема механічного затиску деталей по будь-яким поверхням, зокрема й по криволінійним, нарешті була вирішена завдяки винаходам австрійського інженера Пауліна Карла Кюнце. Ця проблема вирішувалася завдяки вбудованим у лещата тридцяти поворотним сегментним губкам.

Спочатку Паулін Карл Кюнце винайшов «Реактивні губки для щільного затискання предметів будь-якої форми». На цей винахід Кюнце отримав патент Австрії 10 лютого 1913 року [22].

Свій наступний винахід Паулін Карл Кюнце назвав «Пристрій для встановлення тісного контакту з зачепленням або затисканням тіл будь-якої форми». 17 березня 1913 року Кюнце отримав на цей винахід патент Великої Британії [23] та 22 квітня 1913 року – патент США (рис. 5) [24; 25].

На свій останній винахід – «Багатокомпонентна губка для щільного контакту з тілами будь-якої форми, який відбувається при вирівнюванні тиску» Паулін Карл Кюнц отримав патент Швейцарії 16 жовтня 1922 року [26].

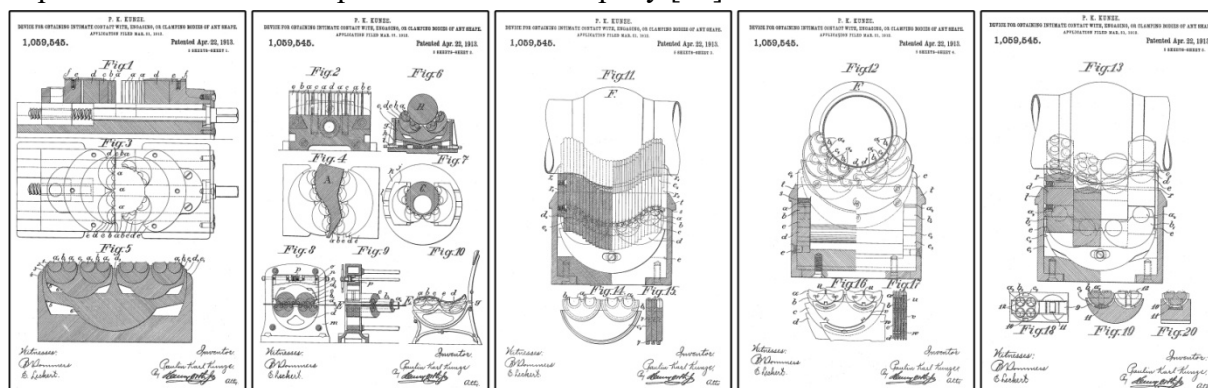


Рис. 5. Ілюстрації патенту Пауліна Карла Кюнц (US Patent: 1,059,545) [24; 25]

Механічні лещата, які були виготовлені на основі цього патенту (рис. 6), у травні 1923 року були прорекламовані американською фірмою Mantle & Co. з Нью-Йорка на обкладинці популярного в той час у промислових кругах професійного журналу про машинобудування American Machinist [27]. У цій рекламі вони були представлені як „Mantle Vise” – «Лещата-мантія».

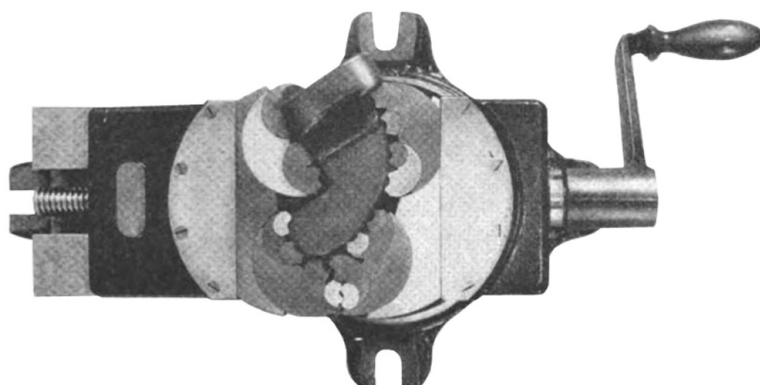


Рис. 6. Механічні лещата, які були виготовлені американською фірмою Mantle & Co на основі патенту Пауліна Карла Кюнц (US Patent: 1,059,545) [24; 25]

У 1928 році Mantle & Co продала всі права на лещата, технологію їх виготовлення, пристосування тощо компанії United States Automatic Box Machinery Co. з Бостона, яка розпочала виробництво та їх продаж як „BOSTON Universal” – «лещата з губками, що самовирівнюються, надійно утримують круглі, квадратні та нестандартні деталі» [28].

Подальший аналіз інформаційних джерел вказує на те, що після цієї події хоча б якісь відомості про подібні лещата були відсутні майже сто років, і тільки з 2020-х років у мережі "Інтернет" вони почали з'являтися знову [29-32].

Слід зауважити, що нині ці лещата позиціонуються як «фрактальні» [29-32] – від латинського слова «fractus», що перекладається як «подрібнений», «дробовий». Само поняття «фрактал» було введено французько-американським математиком Бенуа Мендельбротом у 1975 році [33] – пізніше на 62 роки за винахід Пауліна Карла Кюнц, але, не зважаючи на це, зараз всі лещата, які можуть затискати деталі за криволінійними поверхнями, називаються фрактальними лещатами.

Одним із прототипів фракталів є множина Кантора (дисконтинуум Кантора, пил Кантора) [34] – поняття, яке ввів засновник теорії множин, німецький математик Георг

Фердинанд Людвіг Філіпп Кантор ще у 1883 році. Ця множина дорівнює своїм двом копіям, якщо кожен з копій зменшити втричі та перенести, тобто вона є самоподібною [33]. Множина Кантора являє собою підмножину відрізка дійсних чисел на інтервалі $[0,1]$. Побудувати цю множину можна таким чином: спочатку вилучають середню третину інтервалу $[0, 1]$, залишаючи відрізки $[0, 1/3]$ і $[2/3, 1]$. Далі на кожному наступному кроці побудови вилучають середню третину-інтервал кожного з відрізків, які були отримані на попередньому кроці.

Необхідно зауважити, що фрагмент геометричної інтерпретації множини Кантора за своєю структурою нагадує кінематичну структуру пристрою Пауліна Карла Кюнце «Реактивні губки для щільного затискання предметів будь-якої форми» (рис. 7-8) [34; 22].

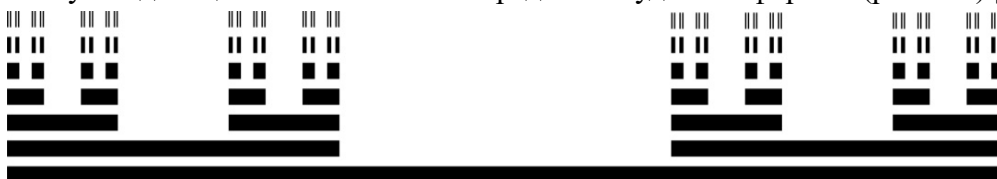


Рис. 7. Фрагмент геометричної інтерпретації множини Кантора, шоста ітерація [34]

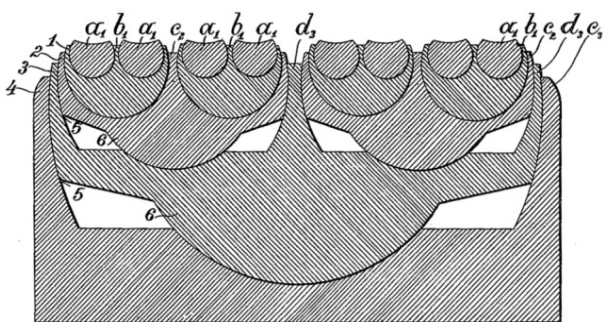


Рис. 8. Ілюстрація з патенту на винахід Пауліна Карла Кюнце (AT Patent: AT-57,512) [22]

Проаналізувавши переваги фрактальних лещат, розроблено декілька нових конструкцій АЗП промислових роботів або маніпуляторів (рис. 9).

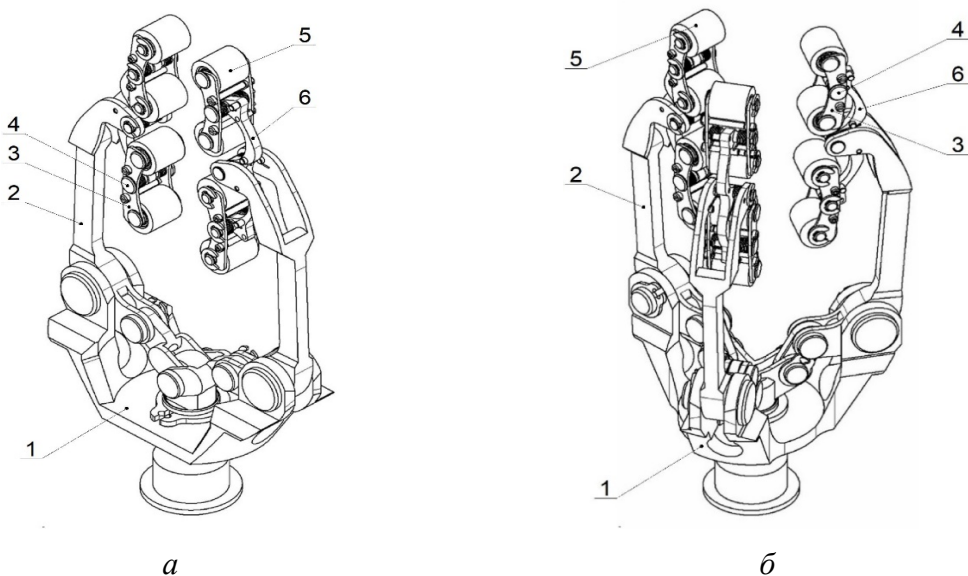


Рис. 9. Конструкції АЗП:

a – двохпальцевий АЗП, *б* – трипальцевий АЗП:

1 – корпус; 2 – пальці; 3 – вторинна рухома фаланга; 4 – шарнір;

5 – контактні елементи; 6 – первинна рухома фаланга

Джерело: розроблено авторами.

У запропонованих конструкціях пальців АЗП використовується принцип, закладений у множині Кантора другої ітерації з можливістю збільшення ітерацій.

На кожному з пальців АЗП розташована одна первинна рухома фаланга 6, виконана у вигляді двоплечого важеля-коромисла з однаковими плечима та шарнірно з'єднана з пальцем 2 у своїй середній частині, при цьому первинна рухома фаланга 6 врівноважено підпружинена відносно пальця 2 при повороті в протилежних напрямках.

На обох кінцях кожної первинної рухоми фаланги 5 закріплені вторинні рухомі фаланги 3 меншої довжини, ніж довжина первинної рухоми фаланги 6, які розміщені так, що їхні ближні до середньої частини первинної рухоми фаланги 6 кінці не торкаються один одного. Вторинні рухомі фаланги 3 також виконані у вигляді двоплечих важелів-коромисел з однаковими плечима й кожна з них шарнірно з'єднана з відповідною первинною рухомою фалангою 6 у середній своїй частині за допомогою шарніра 4. При цьому кожна вторинна рухома фаланга 3 врівноважено підпружинена відносно первинної рухоми фаланги 6 при повороті в обох напрямках, а її кінці виконані з можливістю під'єднання до кожного з них третинної рухоми фаланги.

На обох кінцях кожної рухоми фаланги, що прикріплена останньою в ланцюгу фаланг (на рис. 9 останньою в ланцюгу фаланг зображена вторинна рухома фаланга 3), розташовані контактні елементи 5, що можуть обертатися навколо своєї осі за рахунок базування, наприклад, на підшипнику кочення.

Залежно від функціонального призначення АЗП та конструктивних характеристик захоплюваних поверхонь контактні елементи 5 можуть бути змінними, відрізнятися формою та конфігурацією робочої поверхні. На рис. 9 контактні елементи 5 наведені у вигляді циліндричного ролика з гладкою робочою поверхнею.

Циліндричні контактні елементи є найбільш універсальними й мають достатньо функціональних можливостей для захвату об'єктів різноманітної конструктивної складності та широкого діапазону розмірів. Проте при постійній роботі з об'єктами однакової форми і типорозміру можуть використовуватись спеціальні контактні елементи (рис. 10), форма та конфігурація робочої поверхні яких відповідає формі та типорозміру об'єктів, які потрібно захватити.

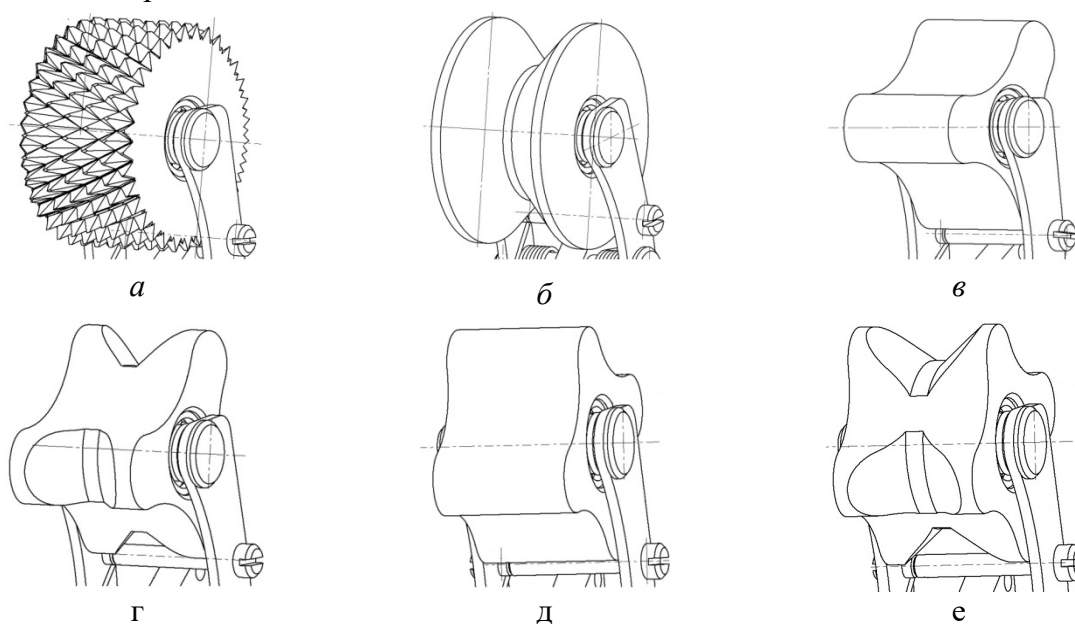


Рис. 10. Варіанти конструкцій контактних елементів АЗП:

a – циліндричний з насічкою, *б* – циліндричний з канавкою, *в* – трикутний,
г – трикутний з канавкою, *д* – чотирикутний, *е* – чотирикутний із канавкою
 Джерело: розроблено авторами.

На рис. 10, *в-е* наведені приклади конфігурації контактних елементів, які збільшують порядок ітерації множини Кантора в запропонованих АЗП до третього.

Висновки. За результатами аналізу особливостей принципу функціонування фрактальних лещат та переваг останніх щодо універсальності захвату деталей з криволінійними поверхнями продемонстровано можливості застосування методу аналогій при проєктуванні нових конструкцій адаптивних захватних пристроїв. Розроблено схемні рішення нових конструкцій АЗП промислових роботів або маніпуляторів для маніпулювання об'єктами зі складною формою захоплюваних поверхонь. Застосування методу аналогій дозволяє розширити можливості проєктування цілої гами нових оригінальних АЗП з адаптацією їхньої конструкції до різних сфер застосування.

Список використаних джерел

1. Welcome to the presentation of World Robotics 2024. [Access mode]. – Access mode: https://ifr.org/img/worldrobotics/Press_Conference_2024.pdf
2. Аналіз розмірних зв'язків роботизованого комплексу / В. Кравець, О. Кравець, Ю. Адаменко, С. Лапковський, В. Кореньков, В. Фролов // Технічні науки та технології. – 2023. – №3(33). – С. 40-52. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3\(33\)-40-52](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3(33)-40-52).
3. Аналіз розмірних зв'язків роботизованої складальної системи. / В. Кравець, О. Кравець, С. Лапковський, В. Фролов, М. Гладський, В. Приходько // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2024. – № 1(88). – С. 54-62. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.7>.
4. Ковальов, Ю. А. Проєктування промислових роботів та маніпуляторів: навчальний посібник / Ю. А. Ковальов, С. О. Кошель, О. П. Манойленко. – Київ : Центр учбової літератури, 2022. – 256 с.
5. Павленко, І. І. Захватні пристрої роботів : монографія / І. І. Павленко, М. О. Годунко ; [за ред. І. І. Павленка]. – Кропивницький : ТОВ «КОД», 2020. – 386 с.
6. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні: підручник / Л. Є. Пелевін, К. І. Почка, О. М. Гаркавенко, Д. О. Міщук, І. В. Русан, – Київ : ТОВ «НВП «Інтерсервіс». – 258 с.
7. Поліщук, М. М. Робототехнічні системи: проєктування і моделювання: навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» / М. М. Поліщук, М. М. Ткач. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 112 с.
8. Проць, Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів : навч. посібн. / Я. І. Проць. – Тернопіль : Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. – 232 с.
9. Current Designs of Robotic Arm Grippers: A Comprehensive Systematic Review / J. Hernandez, M. S. H. Sunny, J. Sanjuan, I. Rulik, M. I. I. Zarif, S. I. Ahamed, H. U. Ahmed, M. H. Rahman // Robotics. – 2023. – № 12(1). DOI: <https://doi.org/10.3390/robotics12010005>.
10. Основи творення машин: підручник / М. Я. Бучинський, О. В. Горик, А. М. Чернявський, С. В. Яхін. – Харків : НТМТ, 2017. – 448 с.
11. Основи творення машин: підручник / М. Я. Бучинський [та ін.]; за ред. О. В. Горика, д-ра техн. наук, проф., заслуж. працівника нар. освіти України. – Київ: Ліра-К, 2020. – 447 с.
12. Gordon, W.J.J. Synectics: the development of creative capacity / W. J. J. Gordon. – New York, Harper, 1961. – 196 p.
13. Prince, G. M. The practice of creativity / G. M. Prince. – Collier Books, 1970. – 197 p.
14. Roukes, N. Design Synectics: Stimulating Creativity in Design / Nicholas Roukes. – Davis Publications, 1988. – 224 p.
15. De Bono, E. Lateral Thinking: Creativity Step by Step / Edward De Bono. – Harper & Row, 1970. – 300 p.
16. Double screw vise. (2015, November 30) [Electronic resource]. – Access mode: <https://thomasguild.blogspot.com/2015/11/double-screw-vise.html>.

17. Löffelholz Kodex. (2020, November 17) [Electronic resource]. – Access mode: <https://machinethinking.co/2020/11/17/loffelholz-kodex/>.
18. The History of Machine Vice. (2023, March 14) [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.her-bert.com/en-US/newsc25-the-history-of-machine-vice>.
19. A brief history of the vice [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.wonkeedonkeetools.co.uk/vices/a-brief-history-of-the-vice>.
20. History - Bench Vice [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.heuer.de/en/company/history-bench-vice#:~:text=It%20was%20only%20with%20the,transformed%20into%20any%20shape%20easily>.
21. Benjamin F. Stephens. Vise-jaws (US Patent: 235,177) / Benjamin F. Stephens. – Published on 1880.
22. Kunze, P. K. Reaction jaws for intimately clamping any shaped article (AT Patent: AT-57,512) / Paulin Karl Kunze. – Published on 1913.
23. Kunze, P. K. Device for obtaining intimate contact with, engaging, or clamping bodies of any shape (GB Patent: GB-191,206,479) / Paulin Karl Kunze. – Published on 1913.
24. Kunze, P. K. Device for obtaining intimate contact with, engaging, or clamping bodies of any shape: US Patent: 1,059,545 / Paulin Karl Kunze. – Published on 1913.
25. Device for obtaining intimate contact with, engaging, or clamping bodies of any shape. [Electronic resource]. – Access mode: <https://patents.google.com/patent/US1059545A/en>.
26. Kunze, P. K. Multi-part jaw for snug contact with bodies of any shape, taking place under pressure equalization : patent CH-96,512 / P. K. Kunze. – Published on 16.10.1922.
27. P. K. Kunze's Contribution to The World – A Vise with Oscillatable Cheeks [Electronic resource] // Tacky Raccoons. – Mode of access: <https://tackyraccoons.com/2021/11/08/p-k-kunzes-contribution-to-the-world-a-vise-with-oscillatable-cheeks/>.
28. Mantle & Co. (2023, March 14) [Electronic resource]. – Access mode: <http://vintagemachinery.org/mfgindex/detail.aspx?id=12319>.
29. Кузнецов, Ю. М. Передумови використання системно-морфологічного підходу та теорії фракталів при створенні лещат для об'єктів складної форми / Ю. М. Кузнецов, Г. Сінмін, О. В. Самойленко // Наукові вісті КІП. – 2021. – № 4(134). – С. 52–57. DOI: <https://doi.org/10.20535/kpissn.2021.4.261849>.
30. Фрактальні лещата які не бачили навіть досвідчені майстри [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nevsedoma.com.ua/uk/492541-fraktalni-leshchata-iaki-ne-bachylyu-navit-dosvidcheni-maistry.html>.
31. Getting to Grips With the Fractal Vise. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.metmo.co.uk/blogs/news/getting-to-grips-with-the-fractal-vise?srsId=AfmBOoop9Vk-B1OKSsavj2bTjDj_1Oqs9Vsedf2hkFQYFquEyAx6zwSV.
32. Fractal Vise by TeachingTech [Electronic resource] // Thingiverse. – Mode of access: https://www.thingiverse.com/thing:4904044#google_vignette.
33. Mandelbrot, B. B. Les objets fractals: forme, hasard et dimension / Benoit B. Mandelbrot. – Flammarion, Paris, 1975. – 190 p.
34. Ferreiros, Jose. Labyrinth of thought: a history of set theory and its role in modern mathematics / Ferreiros Domínguez Jose. – Basel; Boston, MA.: BirkhäuserVerlag, 1999. – 440 p.

References

1. *Welcome to the presentation of World Robotics 2023*. (dateless). ifr.org. https://ifr.org/img/worldrobotics/2023_WR_extended_version.pdf.
2. Kravets, V., Kravets, O., Adamenko, Yu., Lapkovskiy, S., Korenkov, V., & Frolov, V. (2023). Analiz rozmirnykh zviazkiv robotyzovanoho kompleksu [Analysis of dimensional relationships of a robotic complex]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical Sciences and Technologies*, 3(33), 40–52. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3\(33\)-40-52](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3(33)-40-52).
3. Kravets, V., Kravets, O., Lapkovskiy, S., Frolov, V., Hladskiy, M., & Prykhodko, V. (2024). Analiz rozmirnykh zviazkiv robotyzovanoi skladalnoi systemy [Analysis of dimensional relationships of a robotic assembly system]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu – Bulletin of the Kherson National Technical University*, 1(88), 54–62. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.7>.

4. Kovalov, Yu.A., Koshel, S.O., & Manoilenko, O.P. (2020). *Proektuvannia promyslovykh robotiv ta manipulatoriv [Design of industrial robots and manipulators]*. Tsentr uchbovoi literatury.
5. Pavlenko, I.I., & Hodunko, M.O. (2020). *Zakhvatni prystroi robotiv [Robotic gripping devices]*. TOV «KOD».
6. Pelevin, L.Ie., Pochka, K.I., Harkavenko, O.M., Mishchuk, D.O., & Rusan, I.V. (2016). *Syntezy robototekhnichnykh system v mashynobuduvanni [Synthesis of robotic systems in mechanical engineering]*. TOV «NVP «Interservis».
7. Polishchuk, M.M., & Tkach, M.M. (2021). *Robototekhnichni systemy: proektuvannia i modeliuwannia [Robotic systems: design and modeling: a textbook for students of specialty 126 "Information systems and technologies"]*. KPI im. Ihoria Sikorskoho.
8. Prots, Ya.I. (2008). *Zakhopliuvalni prystroi promyslovykh robotiv [Grasping devices of industrial robots]*. Ternopilskyi derzhavnyi tekhnichnyi universytet im. I. Puliuia.
9. Hernandez, J., Sunny, M.S.H., Sanjuan, J., Rulik, I., Zarif, M.I.I., Ahamed, S.I., Ahmed, H.U., & Rahman, M.H. Current Designs of Robotic Arm Grippers: A Comprehensive Systematic Review. *Robotics 2023*, 12 (1). <https://doi.org/10.3390/robotics12010005>.
10. Buchynskiy, M.Ia., Horyk, O.V., Cherniavskiy, A.M., & Yakhin, S.V. (2017). *Osnovy tvorennia mashyn [Fundamentals of machine creation]*. NTMT.
11. Buchynskiy, M.Ia., Horyk, O.V., Cherniavskiy, A.M., & Yakhin, S.V. (2020). *Osnovy tvorennia mashyn [Fundamentals of machine creation]*. Lira-K.
12. Gordon, W.J.J. (1961). *Synectics: the development of creative capacity*. Harper & Row.
13. Prince, G.M. (1970). *The practice of creativity*. Collier Books.
14. Roukes, N. (1988). *Design Synectics: Stimulating Creativity in Design*. Davis Publications.
15. De Bono, E. (1970). *Lateral Thinking: Creativity Step by Step*. Harper & Row.
16. *Double screw vise*. (2015, November 30). [thomasguild.blogspot.com](https://thomasguild.blogspot.com/2015/11/double-screw-vise.html). <https://thomasguild.blogspot.com/2015/11/double-screw-vise.html>
17. Löffelholz Kodex. (2020, November 17). [machinethinking.co](https://machinethinking.co/2020/11/17/loffelholz-kodex). <https://machinethinking.co/2020/11/17/loffelholz-kodex>.
18. The History of Machine Vice. (2023, March 14). www.herbert.com/en-US/. <https://www.herbert.com/en-US/newsc25-the-history-of-machine-vice>.
19. *A brief history of the vice*. (dateless). www.wonkeedonkeetools.co.uk. <https://www.wonkeedonkeetools.co.uk/vices/a-brief-history-of-the-vice>.
20. *History - Bench Vice*. (dateless). www.heuer.de/en/. <https://www.heuer.de/en/company/history-bench-vice#:~:text=It%20was%20only%20with%20the,transformed%20into%20any%20shape%20easily>.
21. Benjamin F. Stephens. (1880). *Vise-jaws* (US Patent: 235,177). United States Patent and Trademark Office
22. Paulin Karl Kunze. (1913). *Reaction jaws for intimately clamping any shaped article* (AT Patent: AT-57,512). Austrian Patent Office
23. Paulin Karl Kunze. (1913). *Device for obtaining intimate contact with, engaging, or clamping bodies of any shape* (GB Patent: GB-191,206,479). Intellectual Property Office
24. Paulin Karl Kunze. (1913). *Device for obtaining intimate contact with, engaging, or clamping bodies of any shape* (US Patent: 1,059,545). United States Patent and Trademark Office
25. *Device for obtaining intimate contact with, engaging, or clamping bodies of any shape*. (dateless). patents.google.com. <https://patents.google.com/patent/US1059545A/en>.
26. Paulin Karl Kunze. (1922). *Multi-part jaw for snug contact with bodies of any shape, taking place under pressure equalization* (CH Patent: CH-96,512). Swiss Federal Institute of Intellectual Property.
27. *P. K. Kunze's Contribution To The World – A Vise With Oscillatable Cheeks*. (2021, November 8). tackyraccoons.com. <https://tackyraccoons.com/2021/11/08/p-k-kunzes-contribution-to-the-world-a-vise-with-oscillatable-cheeks>.
28. *Mantle & Co*. (2023, March 14). vintagemachinery.org. <http://vintagemachinery.org/mfgindex/detail.aspx?id=12319>.
29. Kuznietsov, Yu.M., Sinmin, H., Samoilenko, O.V. (2021). Peredumovy vykorystannia systemno-morfologichnoho pidkhopu ta teoriiy fraktaliv pry stvorenni leshchat dlia ob'ektiv skladnoi formy. *Naukovi visti KPI*, 4(134), 52-57. <https://doi.org/10.20535/kpissn.2021.4.261849/>

30. *Fraktalni leshchata yaki ne bachyly navit dosvidcheni maistry*. (2021, June 28). nevsedoma.com.ua/uk/. <https://nevsedoma.com.ua/uk/492541-fraktalni-leshchata-iaki-ne-bachyly-navit-dosvidcheni-maistry.html>.
31. *Getting to Grips With the Fractal Vise*. (2024, September 19). [www.metmo.co.uk](https://www.metmo.co.uk/blogs/news/getting-to-grips-with-the-fractal-vise?srsrtid=AfmBOoop9Vk-B1OKSsavj2bTjDj_1Oqs9Vsedf2hkFQYFquEyAx6zswSV). https://www.metmo.co.uk/blogs/news/getting-to-grips-with-the-fractal-vise?srsrtid=AfmBOoop9Vk-B1OKSsavj2bTjDj_1Oqs9Vsedf2hkFQYFquEyAx6zswSV.
32. Fractal Vise. (2021, July 09). [www.thingiverse.com](https://www.thingiverse.com/thing:4904044#google_vignette). https://www.thingiverse.com/thing:4904044#google_vignette.
33. Mandelbrot, B.B. (1975). *Les objets fractals: forme, hasard et dimension*. Flammarion.
34. Ferreiros, Jose. (1999). *Labyrinth of thought : a history of set theory and its role in modern mathematics*. Birkhäuser Verlag.

Отримано 08.12.2024

UDC 621.865.8

**Volodymyr Kravets¹, Oleksandr Kravets², Serhii Lapkovsky³,
Volodymyr Frolov⁴, Serhii Sapon⁵, Vasyl Prykhodko⁶**

¹Engineer of the Department of machine design

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: bond118@meta.ua. **ORCID** <https://orcid.org/0009-0005-6867-4858>. **ResearcherID:** [ITU-8413-2023](https://orcid.org/0009-0005-6867-4858)²PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of machine design

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: om.kravets@ukr.net. **ORCID** <https://orcid.org/0000-0002-7468-0956>. **ResearcherID:** [IUQ-7186-2023](https://orcid.org/0000-0002-7468-0956)³PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: Lapkovsky@ukr.net. **ORCID** <https://orcid.org/0000-0002-9870-9231>. **ResearcherID:** [HCH-3837-2022](https://orcid.org/0000-0002-9870-9231)⁴PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: v.k.frolov@gmail.com. **ORCID** <https://orcid.org/0000-0002-3697-286X>. **ResearcherID:** [ACH-0071-2022](https://orcid.org/0000-0002-3697-286X)⁵PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: s.sapon@gmail.com. **ORCID** <https://orcid.org/0000-0003-1082-6431>. **ResearcherID:** [IZE-2184-2023](https://orcid.org/0000-0003-1082-6431)⁶PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: privas0718@gmail.com. **ORCID** <https://orcid.org/0000-0003-1852-3777>. **ResearcherID:** [HDM-7277-2022](https://orcid.org/0000-0003-1852-3777)

**USING THE METHOD OF ANALOGIES IN DESIGNING
AN ADAPTIVE GRIPPERS**

The article is devoted to solving the problems of designing adaptive grippers of industrial robots or manipulators for transporting explosive objects that can be installed on mobile platforms. It is proposed to use the method of analogies when designing structures of adaptive grippers. As analogues of adaptive grippers, it is proposed to use the constructions and operating principles of vices with different configurations of jaws, with the possibility of adapting the kinematic structure of the latter to the geometry of the surfaces of the object to be gripped. The article provides an analysis of the evolution of vise designs from the beginning of their emergence. Special attention has been paid to fractal vices as an analogue of adaptive grippers of industrial robots or manipulators. Using the results of the analysis of the operating principle of the device of the Austrian engineer Paulin Karl Kunze (US Patent: 1,059,545 – Device for obtaining intimate contact with, engaging or clamping bodies of any shape) and the excellent advantages of the latter in terms of universality of gripping parts on curved surfaces, the possibility of designing a whole range of new original designs of adaptive grippers of industrial robots or manipulators for transporting explosives that can be installed on mobile platforms. The given technique makes it possible to systematically cover not only the designs of adaptive grippers already in production, but also to find those whose creation is possible and, in some cases, even expedient. Based on the use of this technique, several new designs of adaptive grippers for industrial robots or manipulators are proposed. These designs require further in-depth research.

Keywords: gripper; adaptive; industrial robot; construction; designing; method of analogies; vice; fractal; jaws; grasping.

Fig.: 10. References: 34.