

НОСОВ ОЛЕКСІЙ

Київський національний університет технологій та дизайну

e-mail: nosov.ov@knutd.edu.ua

КОВАЛЬОВ ЮРІЙ

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-2321-6763>

e-mail: kovalov.ya@knutd.com.ua

ОГЛЯД, КЛАСИФІКАЦІЯ ТА АНАЛІЗ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ В ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ

У статті проведено огляд, класифікацію та порівняльний аналіз сучасних захватних пристроїв як кінцевої ланки роботизованих систем, що безпосередньо контактують з об'єктами маніпулювання в промислових автоматизованих системах. Розглянуто основні типи захватів – механічні, магнітні, вакуумні, струменеві та з еластичними камерами – з позицій принципу дії, конструктивних особливостей та умов експлуатації. Проаналізовано переваги, недоліки та експлуатаційні обмеження кожного типу в залежності від геометричних і фізико-механічних особливостей об'єкту маніпулювання. Показано, що зростання рівня автоматизації та роботизації виробничих процесів зумовлює підвищення вимог до швидкості, точності, адаптивності захватних пристроїв. Було обґрунтована перспективність розвитку багатопальцевих адаптивних захватних пристроїв з інтегрованими сенсорами та з використанням інтелектуальних алгоритмів керування, для підвищення продуктивності, функціональності роботизованих комплексів. Отримані результати можуть бути використані при виборі та проектуванні захватних пристроїв.

Ключові слова: захватні пристрої, автоматизовані виробничі системи, захвати, адаптивність, транспортування, маніпулювання.

NOSOV OLEKSIY

Kyiv National University of Technology and Design

KOVALYOV YURI

Kyiv National University of Technology and Design

REVIEW, CLASSIFICATION, AND ANALYSIS OF ROBOTIC GRIPPERS IN MANUFACTURING SYSTEMS

The article presents a review, classification, and comparative analysis of modern gripper devices as end-effectors of robotic systems that directly interact with manipulated objects in automated industrial processes. The relevance of the study is driven by the steady growth of automation and robotization in manufacturing, the expansion of product ranges, and increasing requirements for the speed, accuracy, and flexibility of technological operations.

The main types of grippers—mechanical, magnetic, vacuum, jet-based, and grippers with elastic chambers—are considered in terms of operating principles, structural features, and operating conditions. Their advantages, disadvantages, and operational limitations are analyzed depending on the geometric and physical-mechanical characteristics of the manipulated objects. It is shown that mechanical grippers remain the most versatile due to their structural simplicity and reliability; however, they exhibit limited adaptability. Magnetic and vacuum grippers are effective only for a narrow class of materials, whereas jet-based and elastic grippers provide enhanced adaptability but are characterized by limited payload capacity and service life.

The prospects for the development of multi-finger adaptive grippers with integrated sensors and intelligent control algorithms, including artificial intelligence elements, are substantiated as a means of increasing the productivity and functionality of robotic systems. The feasibility of approximating the operating principles of modern grippers to the functional capabilities of the human hand is demonstrated. The obtained results can be applied in the selection and design

of gripper devices for industrial robots and may also serve as a basis for further research in robotics and mechanical engineering.

Keywords: gripper devices, automated manufacturing systems, robotics, adaptive grippers, transportation, manipulation.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Промислове виробництво не можна уявити без промислових роботів. Їх парк постійно зростає [1]. Подальша зміна асортименту продукції, збільшення кількості та різноманітності деталей, вимагають шукати нові типи робототехнічних пристроїв, які забезпечують надійність, точність і універсальність виконання технологічних операцій.

Аналіз досліджень та публікацій

Сучасні дослідження та публікації щодо видів, класифікації та принципів побудови захватних пристроїв промислових роботів [3-6, 8, 10, 12, 13, 15, 16] показують, що незважаючи на значну кількість досліджень залишається актуальним питання порівняльного аналізу різних типів захватних пристроїв з позиції їх адаптивності до складної геометрії об'єктів маніпулювання та перспектив розвитку інтелектуальних, багатофункціональних захватів. Світові тенденції розвитку промислових роботів, а також зростання інтересу до захватних пристроїв зумовлюють актуальність даної теми.

Формулювання цілей статті

Метою даної роботи є: огляд, класифікація та аналіз сучасних захватних пристроїв, що застосовуються в виробничих системах, а також визначення перспективних напрямків їх розвитку, зокрема в контексті створення адаптивних захватів, наближених за принципами роботи до захватних можливостей людської руки.

Виклад основного матеріалу

Основою розвитку сучасної легкої промисловості є технологічний прогрес, що визначається рівнем взаємодії засобів праці, об'єктів виробництва, транспортних та обслуговуючих систем, які в сукупності формують складні багаторівневі виробничі процеси. Одним із проявів прогресу є автоматизація та роботизація виробничих процесів, за яких керування та регулювання технологічними операціями здійснюється з мінімальною участю людини.

Світова динаміка розвитку парку промислових роботів [1] свідчить про стійку тенденцію до зростання рівня автоматизації та роботизації виробництва а з тим і підвищеними вимогами до продуктивності, якості, швидкості технологічних процесів (рис. 1).



Рис. 1. Світова динаміка оперативного парку промислових роботів в 2021 – 2024 р. р.

Вагомою складовою таких систем є захватні пристрої, які безпосередньо контактують з об'єктом маніпулювання та визначають надійність та точність виконання технологічних операцій. Різноманітність форм,

габаритних характеристик і фізико-механічних властивостей об'єктів маніпулювання обумовлює існування широкого спектра конструктивних рішень захватних пристроїв.

Незважаючи на широкий вибір конструкцій захватних пристроїв, актуальним залишається питання вибору та вдосконалення захватів з урахуванням конкретних умов експлуатації, вимог до адаптивності та перспектив розвитку інтелектуальних робототехнічних систем. Особливого значення набуває порівняльний аналіз різних типів захватів з позиції їх функціональних можливостей, переваг та обмежень.

Захвати – це підсистеми механізмів захвату, які забезпечують тимчасовий контакт з об'єктом, який потрібно захопити. Захватні пристрої відіграють ключову роль у сучасних автоматизованих системах, оскільки вони являють собою кінець плеча маніпулятора та знаходяться в прямому контакті з об'єктом маніпулювання. В виробничих системах є перелік вимог до захватних пристроїв, їх класифікують як загальні вимоги та вимоги пов'язані з конкретними умовами використання. До числа загальних, обов'язкових вимог відносять надійність захоплення та утримання об'єкта, недопустимість пошкодження об'єкта, безпечність та швидкість, для скорочення виробничого циклу, надійність, для відпрацювання певного періоду часу, передбаченого проектувальниками [3, 5, 8]. Класифікація захватних пристроїв представлена в таблиці [3, 8].

З широкого кола захватних пристроїв, виділяють основні типи, в залежності від характеру дії на об'єкт маніпулювання: механічні, магнітні, вакуумні, струменеві та з еластичними камерами [3, 8, 9].

Найбільш поширеними захватними пристроями є механічні захвати. Це пристрої у яких дія на об'єкт маніпулювання здійснюється в місцях контакту з робочими елементами за допомогою приводу або під впливом власної ваги об'єкта. Різноманітність їх конструктивних виконань є надзвичайно великою. Здебільшого вони мають конструкцію: привід, проміжні передачі, важільні механізми із затискними елементами, корпусні та базові деталі а також інформаційно-вимірювальні елементи. Залежно від типу приводу їх поділяють на пневматичні, гідравлічні, електричні, безприводні.

Основними перевагами механічних захватних пристроїв з пневмоприводом є :

- простота конструкції;
- зручність регулювання зусиль затиску;
- простота підведення енергії;
- можливе використання в агресивному середовищі та зонах із підвищеними температурами.

До недоліків даного захватного пристрою відносять відносно великі габарити, невеликі зусилля, що реалізуються самим захватним елементом.

Перевагами механічних захватних пристроїв з гідравлічним приводом є:

- можливість використання в умовах, що потребують значних зусиль затиску;
- порівняно невеликі габаритні розміри;
- легкість регулювання зусилля затиску.

Основними недоліками даного типу захватних пристроїв є застосування робочих рідин, що може призводити до їх витоків та ускладненню робочого процесу.

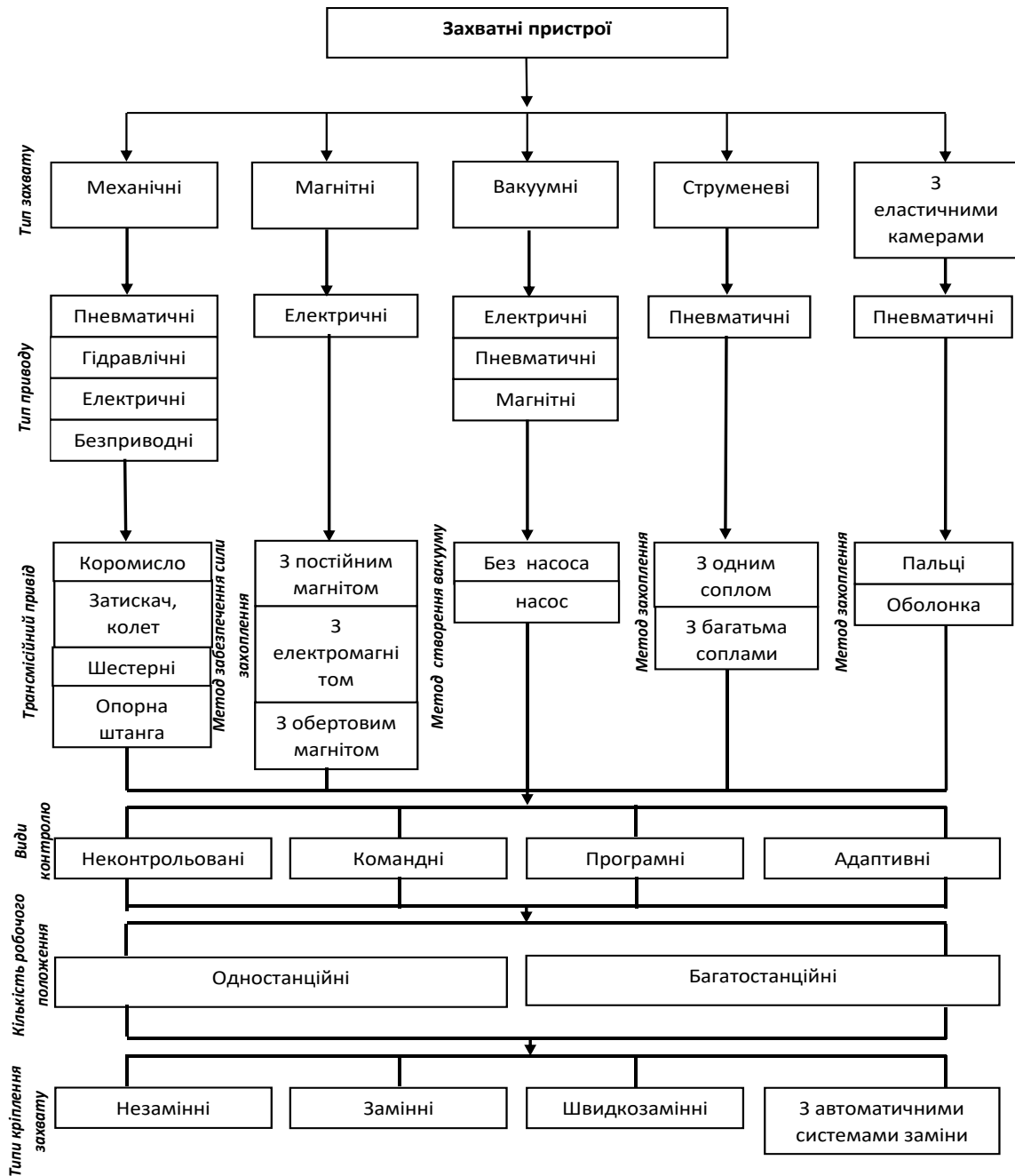
Електромеханічний привод, з огляду на конструктивну складність, застосовується у виняткових випадках, коли його використання є техніко-економічно обґрунтованим.

Найбільш типові конструкції механічних захватних пристроїв наведено на рис.2:

- захвати з пружинно-силовим затиском: без індивідуального приводу або з приводом на розмикання;
- пристрої з важільно-шарнірними механізмами (1, а);
- пристрої із зубчасто-рейковою передачею (1, б);
- пристрої з клинковою передачею (1, в);
- пристрої з плоско-паралельним рухом затискних губок (1, г);
- зі змінними затискними елементами (1, д).

Механічні захвати без приводу не мають рухомих ланок і являють собою опори, на яких об'єкт утримується за допомогою сили тяжіння.

Таблиця. Класифікація захватних пристроїв



Розрахунок механічних захватних пристроїв передбачає визначення сил, що діють у місцях контакту об'єкта маніпулювання та губок, зусиль привода, контактних навантажень, характеристик міцності їх елементів [3, 8-10, 12].

Магнітні захватні пристрої утримують об'єкт при дії магнітних сил, утворених постійним магнітом (рис. 3, а) або електромагнітом (рис 3, б). У порівнянні із вакуумними вони, як правило, простіші за своєю конструкцією та мають більш тривалий термін експлуатації. Їх використовують при маніпулюванні різними важкими об'єктами. Завдяки призматичній формі магнітного полюса захват може працювати як з плоскими так і з циліндричними об'єктами.

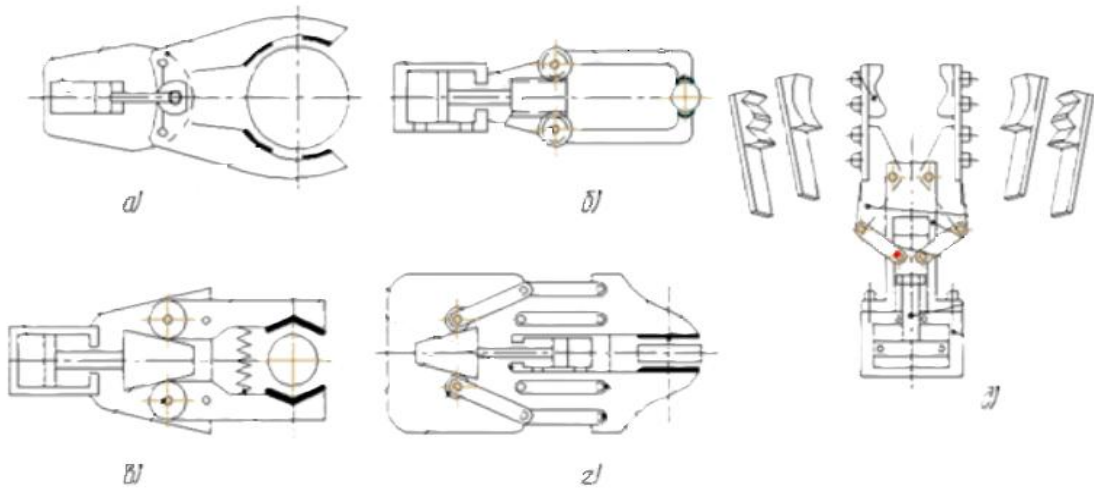


Рис. 2. Схема механічних захватних пристроїв

До переваг даного захватного пристрою можна віднести відносну конструктивну простоту, швидкість захвату об'єкту, силу притягання на одиницю площі поверхні, високу якість та надійність захвату, що дозволяє використовувати даний тип пристрою в різних, особливо жорстких, екстремальних умовах [11]. Застосування даного типу захвату можливо лише для об'єктів маніпулювання, які взаємодіють з магнітним полем, тобто виготовлені з феромагнітних матеріалів із високим значенням магнітної проникності. Таким чином сфера застосування даного типу пристрою є обмеженою.

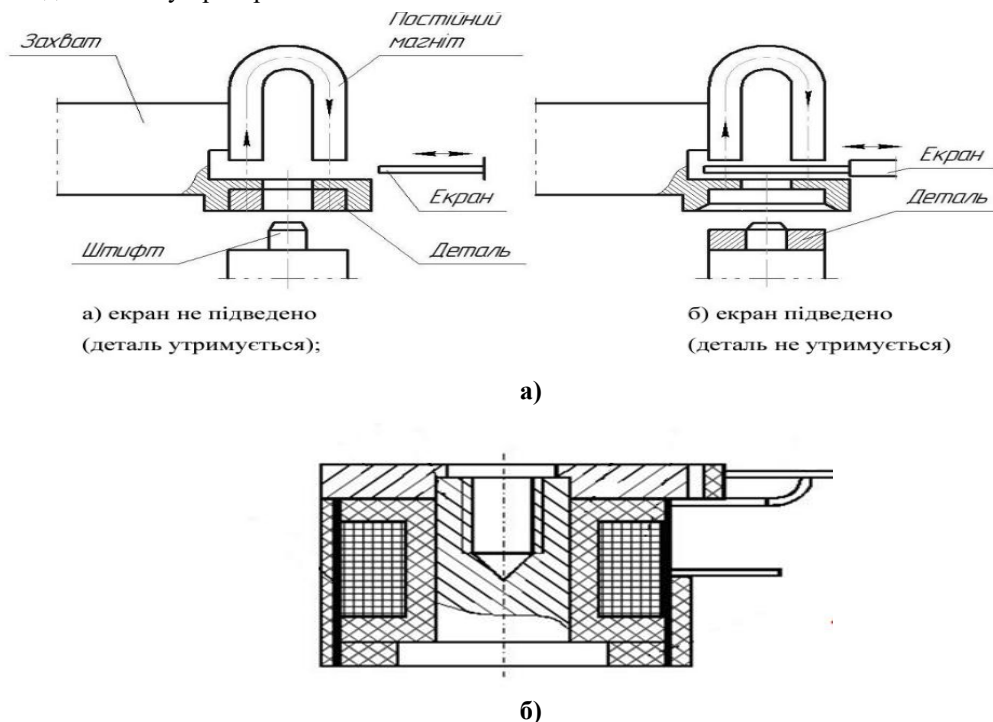


Рис. 3. Магнітні захватні пристрої: а) захвати з постійним магнітом і магнітним екраном; б) захват з електромагнітом

Вакуумні захватні пристрої (рис. 4) – це захвати в яких для утримання об'єкта маніпулювання використовується розріджене повітря в замкнутій порожнині робочого елемента. За методом створення вакууму розрізняють активні та пасивні захватні пристрої [12]. В активних захватах розрідження створюється за допомогою вакуумних насосів або ежекційних пристроїв, тоді як у пасивних, вакуум формується внаслідок деформації деталі або її пружного елемента та витіснення повітря під час такої деформації.

Даний тип захватів застосовують переважно для маніпулювання скляними та крихкими виробами з гладкими поверхнями. Найбільш поширеним є використання вакуумних захватів для роботи з плоскими деталями зокрема, з заготовками у вигляді листових матеріалів. Разом з тим, можливе їх застосування для об'єктів складної геометричної форми, що визначається конструкцією затискних камер. У виробничій практиці найбільш поширеними є ежекторні схеми, які забезпечують пропускання стисненого повітря через звужений калібрований отвір за яким утворюється розрідження в камері присоски – кінцевому елементу захватного пристрою [12].

Вакуумні захватні пристрої мають просту конструкцію, відносно невелику масу, та можуть використовуватись в роботі з великим переліком матеріалів (метал, пластмас, кераміка, скло та ін.). Основним недоліком даного типу захватів є необхідність постійного прокачування повітря та підтримання вакууму в системі, що призводить до підвищеного енергоспоживання та до збільшення ймовірних поломок пов'язаних з цими конструктивними особливостями.

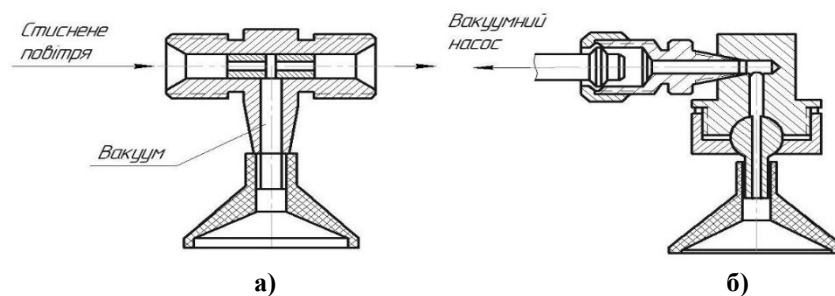


Рис .4. Схема вакуумних захватних пристроїв: а) ежекторного типу; б) з вакуумним насосом

До струменевих захватних пристроїв (рис 5), належать пристрої, у яких як робоче середовище використовують потік підведеного стиснутого повітря, а утримування об'єкта здійснюється за рахунок аеродинамічного ефекту сили, що притягує [3]. На сьогодні відомі такі типи струменевих захватів: опірні, вихрові, з одним циліндричним соплом, а також ежекційні захоплювачі з кільцевим соплом. Сила, що притягує, виникає внаслідок взаємодії струменя стисненого повітря, що витікає з отвору малого діаметру, з поверхнею об'єкта маніпулювання. Як правило, при використанні даного типу захватів, об'єкти маніпулювання є стандартизованими та мають плоску циліндричну, або круглу поверхню, з невеликою масою. Такі пристрої характеризуються надійністю, експлуатаційною довговічністю, високою швидкістю та конструктивною простотою. Основним недоліком струменевих захватів є обмежена вантажопідйомність, зумовлена значними втратами енергії внаслідок тертя повітряних потоків об стінки каналів, а також опору в соплах. Крім того, для створення стиснутого повітря необхідне додаткове обладнання, яке забезпечуватиме даний процес, що призводить до збільшення маси системи та ускладнення її конструкцій [3, 13, 14]

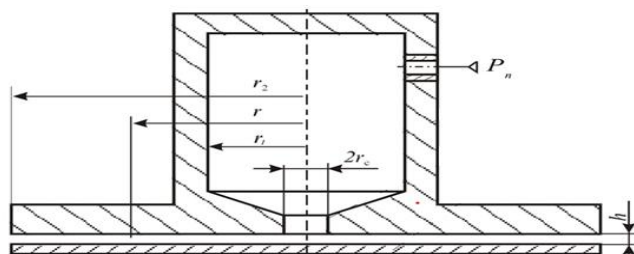


Рис 5. Схема струменевого захоплювача

Захватні пристрої з еластичними камерами (пальцями) зазвичай використовують для переміщення невеликих виробів малої маси, що мають неправильну форму або складну геометрію [8]. Захоплення та

утримання об'єктів виконується за рахунок деформації еластичних камер під впливом тиску повітря або рідини (рис.6).

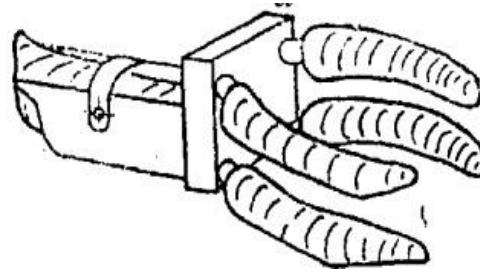


Рис. 6. Захватний пристрій з еластичними камерами

Такі хватні пристрої забезпечують високу адаптивність до форми об'єкта маніпулювання та рівномірний розподіл зусилля затиску по його поверхні. Хват об'єкта може здійснюватися як за його зовнішню, так і за внутрішню поверхню. Найбільш універсальними серед даного типу пристроїв є еластично-охоплюючі хватні пристрої.

Хватні пристрої з еластичними камерами характеризуються силовим захопленням та формою. Силоне захоплення є універсальним методом, але його використання обмежене обробкою м'яких, крихких та делікатних деталей. За формою робочої поверхні хватні елементи можуть бути плоскими, сферичними, циліндричними, призматичними або довільної форми, при цьому вибір їх форми визначається геометричними параметрами об'єкта маніпулювання. Залежно від жорсткості поверхні хватні елементи класифікують на тверді та м'які. Водночас тверді хватні елементи можуть мати як тверде, так і м'яке покриття робочої поверхні. Параметри поверхні об'єкта маніпулювання істотно впливають на вибір типу хватних елементів. Застосування елементів з м'яким покриттям призводить до зниження вантажопідйомності та зменшенню терміну експлуатації хватів [8].

Людська рука є еталоном хватного пристрою (рис. 7). Прагнення розширити функціональні можливості хватів призводить до створення хватних пристроїв, максимально наближених до хватного функціоналу людської руки. Для цього кожен „палець” хвату комплектують керованим приводом, різноманітними датчиками та пристроями для автоматичного зчитування явищ чи антропогенних процесів та автоматичним керуванням ними. Приєднавши до таких можливостей хватного пристрою, можливість керувати процесом за допомогою нейросітки – отримаємо найбільш досконалу модель промислового робота для сучасних реалій чи найближчого майбутнього.

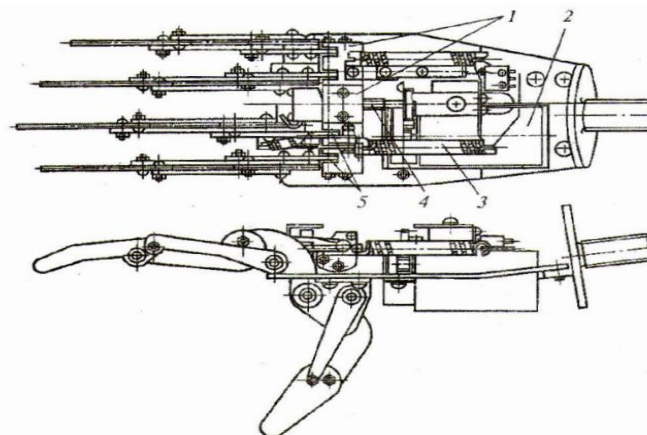


Рис. 7. Хватний пристрій у вигляді кисті людської руки: 1 – пластина; 2 – електродвигун постійного струму; 3 – пружина; 4 – ходовий гвинт; 5 – кривошип

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведено огляд та систематизацію основних типів захватних пристроїв, що застосовуються в сучасних автоматизованих виробничих системах, з урахуванням принципу їх дії та конструктивних особливостей.

Було встановлено, що механічні захватні пристрої залишаються найбільш універсальними та поширеними завдяки простоті конструкції та надійності, проте мають обмежені адаптивні можливості до об'єктів складної геометрії.

Показано, що магнітні та вакуумні захватні пристрої є ефективними лише для обмеженого переліку матеріалів і виробів, що звужує їх коло практичного застосування.

Струменеві захватні пристрої та захвати з еластичними камерами забезпечують високу швидкість та адаптивність, однак характеризуються обмеженою вантажопідйомністю та порівняно невеликим ресурсом експлуатації.

Обґрунтовано доцільність подальшого розвитку захватних пристроїв у напрямку розвитку захватів з еластичними камерами, адаптивних систем з інтегрованими сенсорами та інтелектуальними алгоритмами керування.

Отримані результати можуть бути використані при виборі та проектуванні захватних пристроїв для промислових роботів а також як основа для подальших наукових досліджень у галузі механічної інженерії, робототехніки.

Література

1. International Federation of Robotics. *World Robotics – Industrial Robots 2022–2025 Executive Summaries* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ifr.org> (дата звернення: 01.02.2026).
2. Wikipedia [Електронний ресурс]: веб-сайт. — Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org> (дата звернення: 01.02.2026).
3. Проць Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів : навч. посіб. — Тернопіль : Вид-во Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, 2008.
4. Похілько Л. К. Питання систематизації та оцінювання фрикційних захватних пристроїв // Вісник СевНТУ. Серія «Механіка, енергетика, екологія». — 2013. — С. 308–314.
5. Birglen L., Schlicht T. Statistical review of robotic industrial grippers // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. — 2018. — Vol. 49. — P. 88–97. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.05.007>
6. Поліщук М. М., Ткач М. М. Робототехнічні системи : проектування і моделювання. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.
7. Проць Я. І., Савків В. Б., Шкодзінський О. К., Ляшук О. Л. Автоматизація виробничих процесів : навч. посіб. — Тернопіль : Вид-во Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, 2011.
8. Ivanov V., Andrusyshyn V., Pavlenko I., Pitel J., Bulej V. New classification of industrial robotic gripping systems for sustainable production // *Scientific Reports*. — 2024. — URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-50673-5> (дата звернення: 01.02.2026).
9. Види захватів [Електронний ресурс] : веб-сайт. — Режим доступу: <https://dorna.ai/blog/types-of-grippers-for-robots/#pneumatic-grippers> (дата звернення: 01.02.2026).
10. Крахмальов О. В. Механічні захватні пристрої промислових роботів // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD–2016) : тези доп. 24-ї міжнар. наук.-практ. конф., 18–20 травня 2016 р. — Харків : НТУ «ХП», 2016. — С. 58.
11. Магнітний захват [Електронний ресурс]: веб-сайт. — Режим доступу: <https://lebedka.ua/blog/stati/magnitnyj-zahvat-naznachenie-i-princip-raboty> (дата звернення: 01.02.2026).
12. Павленко І. І., Мажара В. А. Роботизовані технологічні комплекси : монографія. — Кропивницький : ТОВ «КОД», 2019. 382 с.

13. Vukobratovic M. Robot-environment dynamic interaction survey and future trends // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. — 2010. — Vol. 49. — P. 329–342. — DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064230710020188>
14. Колонюк С. П., Цапик Р. П. Дослідження експлуатаційних параметрів пневматичних захоплювальних пристроїв при автоматизації завантаження габаритних вантажів [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/29670> (дата звернення: 01.02.2026).
15. Engelberger J. F., Lock D., Willis K. *Robotics in practice. Management and applications of industrial robots*. — London: Kogan Page Ltd., 1982. — 291 p.
16. Karabegović I., Turmanidze R., Dašić P. *Robotics and Automation as a Foundation of the Fourth Industrial Revolution – Industry 4.0 // Advanced Manufacturing Processes. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. — Springer, Cham, 2020. — DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7_13

References

1. International Federation of Robotics. (2022–2025). *World Robotics – Industrial Robots Executive Summaries*. Available at: <https://ifr.org> (accessed 01.02.2026).
2. Wikipedia. *Free Encyclopedia*. Available at: <https://uk.wikipedia.org> (accessed 01.02.2026).
3. Prots, Ya. I. (2008). *Gripping Devices of Industrial Robots*. Ternopil: Ternopil State Technical University named after Ivan Puluj.
4. Pokhilko, L. K. (2013). Issues of systematization and evaluation of friction grippers. *Bulletin of SevNTU. Series “Mechanics, Energy, Ecology”*, pp. 308–314.
5. Birglen, L., & Schlicht, T. (2018). Statistical review of robotic industrial grippers. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.05.007>
6. Polishchuk, M. M., & Tkach, M. M. (2021). *Robotic Systems: Design and Modeling*. Kyiv: Igor Sikorsky KPI.
7. Prots, Ya. I., Savkiv, V. B., Shkodzinskyi, O. K., & Lyashuk, O. L. (2011). *Automation of Manufacturing Processes*. Ternopil: Ternopil State Technical University named after Ivan Puluj.
8. Ivanov, V., Andrusyshyn, V., Pavlenko, I., Pitel, J., & Bulej, V. (2024). New classification of industrial robotic gripping systems for sustainable production. *Scientific Reports*. Available at: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-50673-5>
9. Types of robot grippers. Available at: <https://dorna.ai/blog/types-of-grippers-for-robots/#pneumatic-grippers> (accessed 01.02.2026).
10. Krakhmalov, O. V. (2016). Mechanical gripping devices of industrial robots. In *Information Technologies: Science, Engineering, Technology, Education, Health (MicroCAD–2016)*, Kharkiv: NTU “KhPI”, p. 58.
11. Magnetic gripper. Available at: <https://lebedka.ua/blog/stati/magnitnyj-zahvat-naznachenie-i-princip-raboty> (accessed 01.02.2026).
12. Pavlenko, I. I., & Mazhara, V. A. (2019). *Robotic Technological Complexes*. Kropyvnytskyi: KOD Publishing, 382 p.
13. Vukobratovic, M. (2010). Robot-environment dynamic interaction survey and future trends. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 49, 329–342. <https://doi.org/10.1134/S1064230710020188>
14. Koloniuk, S. P., & Tsapyk, R. P. Investigation of operational parameters of pneumatic gripping devices in automated loading of oversized cargo. Available at: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/29670> (accessed 01.02.2026).
15. Engelberger, J. F., Lock, D., & Willis, K. (1982). *Robotics in Practice: Management and Applications of Industrial Robots*. London: Kogan Page Ltd., 291 p.
16. Karabegović, I., Turmanidze, R., & Dašić, P. (2020). Robotics and Automation as a Foundation of the Fourth Industrial Revolution – Industry 4.0. In *Advanced Manufacturing Processes*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7_13