

УДК 621.22

Є. О. Федотов, О.С. Ганпанцурова, О.П. Губарев

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

До питання ущільнення конструкцій гідроциліндрів

Ефективність сучасного виробництва напряму залежить від різноманітної техніки автоматизації, а промисловість і техніка автоматизації для виконання технологічних операцій найчастіше використовують приводи - електричні, гідравлічні, пневматичні. Приводи застосовують для виконання різноманітних виробничих та допоміжних дій: технологічних операцій, переміщення інструментів, заготовок, нанесення покриттів і красок, лаків, клею, пресування деталей, позиціонування тощо [1].

Гідравлічні приводи набули широкого розповсюдження завдяки їх надійності, надвисокій максимальній потужності при можливості забезпечення низьких швидкостей руху, нульовій потужності при нульовій швидкості, точності, можливості тривалої роботи в екстремальних умовах. В той же час гідроприводи мають певні недоліки, які обмежують їх використання – невисоку екологічність більшості робочих рідин, залежність робочих характеристик від зміни в'язкості робочої рідини, обмежене використання в харчовій та медичній галузях. Також одним із недоліків є витоки, як внутрішні, так і зовнішні. Вони суттєво знижують ККД гідроприводу, а також погіршують характеристики та параметри роботи гідроагрегатів.

Одним із основних елементів гідроприводу є виконавчі пристрої, в якості яких найчастіше використовуються гідравлічні циліндри. Саме тому надійність та безвідмовна робота всієї системи в багатьох аспектах залежать від працездатності та довговічності гідроциліндрів [2].

Однією з найбільш розповсюджених причин поточного ремонту гідроциліндрів є руйнування ущільнень, що робить актуальною задачею аналіз причин їх зношування та ефективності використання різних матеріалів, конструктивних рішень та варіантів їх застосування.

Щоб зменшити витоки в циліндрах, застосовують різні типи та комбінації ущільнень. Головними факторами, які впливають на вибір ущільнень, є місце встановлення (рис. 1), розрахунковий тиск, діапазон робочих температур, тип робочої рідини, і швидкість руху приводу [1, 2]. Для підвищення ефективності

ущільнень широко застосовуються також комбінації матеріалів.

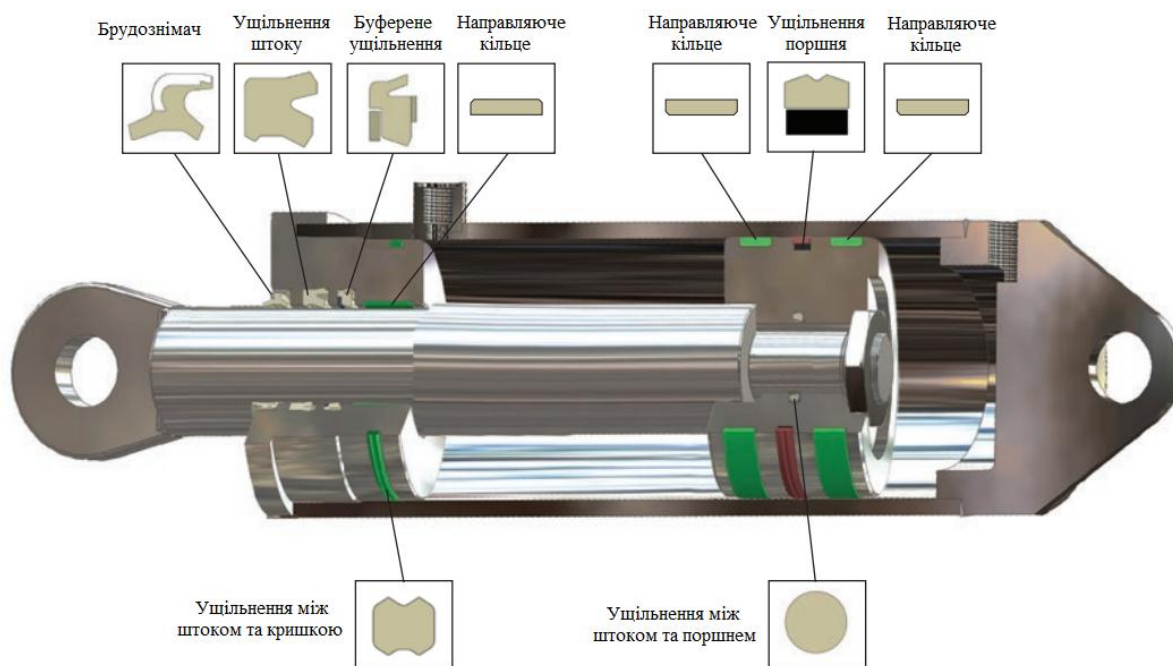


Рис. 1. Схема розташувань ущільнень у гідроциліндрі

Найбільш поширеними матеріалами для ущільнень, які використовуються в промисловому гідроприводі, є NBR, HNBR, TPU, FKM, PTFE [3].

NBR – нітрилова гума, дуже поширений матеріал для ущільнень. Із переваг можна зазначити стійкість до стирання, хороший температурний діапазон, висока стійкість на розрив і стиснення, сумісність з широким асортиментом мастил та рідин.

XNBR - карбоксильований нітрильний каучук, має ті ж самі характеристики як і NBR, але з підвищеною зносостійкістю.

HNBR - гідрогенізований нітрильний каучук, який відрізняється високою стійкістю до нафтопродуктів, більшим температурним діапазоном, ніж поліуретани та стандартні нітрити.

TPU – термопластичний поліуретан, широко застосовується як матеріал для динамічних ущільнювачів. Це хороший гідравлічний та пневматичний ущільнювальний матеріал загального призначення, який добре зарекомендував себе в низькотемпературних середовищах і в рідинах, що виконані на базі води, а також у стандартних гідравлічних рідинах на основі мінеральних мастил.

FKM – фтореластомерний каучук, який відрізняється високою температурною та хімічною стійкістю. Ущільнення з такого матеріалу здатні

витримувати температури до 200°C.

PTFE - це полімер з дуже низьким коефіцієнтом тертя та високою хімічною стійкістю, що робить його незамінним для застосування в умовах надзвичайно високих температур та тисків і в агресивних середовищах. Низький коефіцієнт тертя надає йому гарні характеристики ковзання, що робить його популярним матеріалом для ущільнення поршня при роботі гідроциліндрів з високими швидкостями (до 4 м/с). Однак PTFE має деякі обмеження у своїх властивостях та характеристиках зносу [4, 5]. З цієї причини PTFE часто поєднується з такими матеріалами, як скло або бронза.

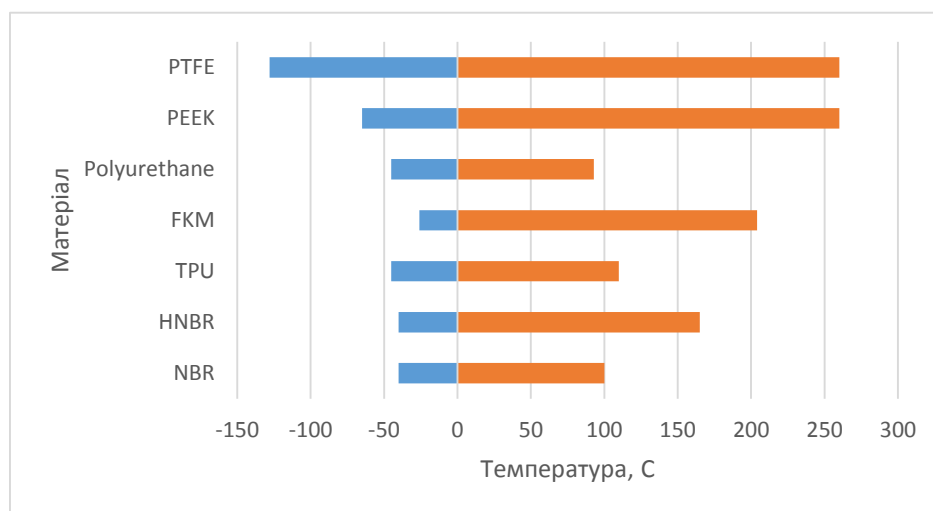


Рис. 2. Діаграма температурних діапазонів різних матеріалів ущільнень

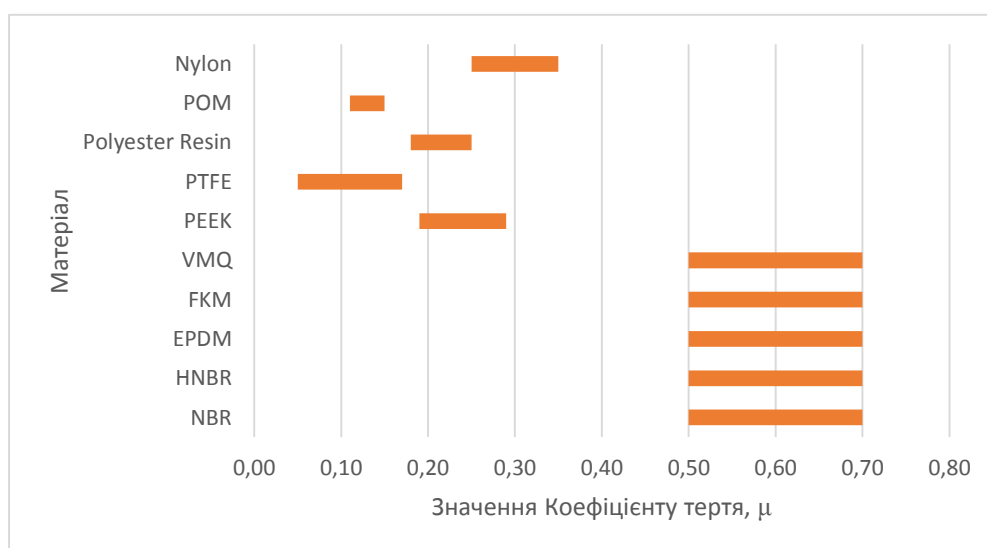


Рис. 3. Діаграма коефіцієнтів тертя різних матеріалів ущільнень

В залежності від типу матеріалу, ущільнення можуть працювати в різних

температурних діапазонах (рис. 2) та отримують відповідні значення коефіцієнту тертя (рис. 3) [6]. В більшості випадків ці показники є одними з основних при виборі ущільнень в залежності від галузі використання гідроциліндра.

Окрім експлуатаційних характеристик необхідно враховувати взаємодію матеріалу ущільнень з поширеними у використанні типами рідин. Для аналізу відповідності матеріалу і рідини використовують таблиці сумісності (наприклад, табл. 1) [6].

Таблиця 1. Сумісність матеріалу ущільнення і робочої рідини

A –

	Мінеральні мастила (HL, HLP, HVLP)		Вогнестійкі рідини із вмістом води (вода, HFA, HFB, HFC)		Вогнестійкі безводні рідини (HFD-R, HFD-U)	
	60	100	60	100	60	100
TPU	A	B	B	B/C (HFB - D)	HFD-R - D, HFD-U - B	D
TPC	A	B/C	A (HFC - C)	B (HFC - D)	HFD-R - D, HFD-U - A	HFD-R - D, HFD-U - B
NBR/HNBR	A	A/B	A	A	D	D
FKM	A	A	A	A/B	A	A
PEEK	A		A		A	
PTFE	A		A		A	
PA/PF	A		C		A	

Відмінно В – Добре С – Задовільно D – Не рекомендується

Ущільнення відрізняються не тільки типом матеріалу, а і формою профілю, в залежності від якої змінюється і місце встановлення і сфера використання. Наприклад, у важкій промисловості дуже часто використовують шевронні ущільнення (рис. 4), оскільки експлуатація відбувається із великими навантаженнями та тисками. Але при цьому обмежується швидкість руху (до 1 м/с) та збільшується тертя.

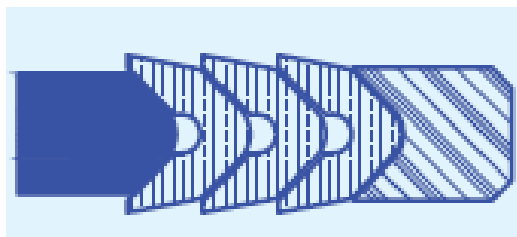


Рис. 4. Схема шевронного ущільнення

На відміну від важкої промисловості, для харчової і медичної промисловості не так важливі зусилля, що створює циліндр, як можливість працювати з високою швидкістю та стабільність матеріалів ущільнення при роботі зі специфічними робочими рідинами цих галузей. Як приклад можна привести спеціальні профілі ущільнень типів Lionsele LF (рис. 5а) та Lionsele P (рис. 5б) [7].

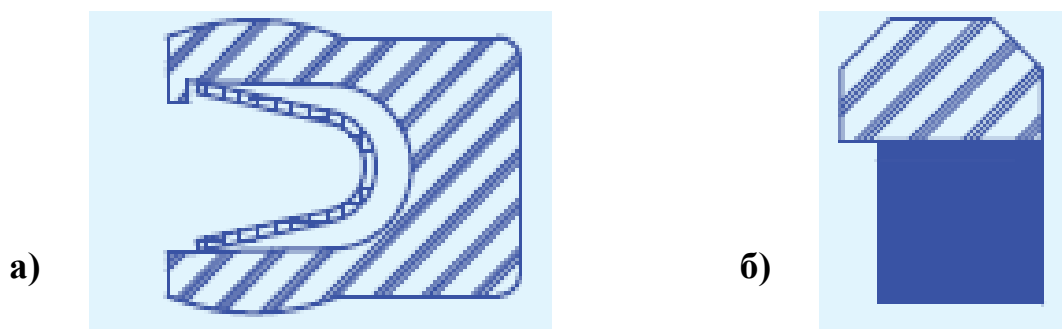


Рис. 5. Профілі ущільнень типів: а) Lionsele LF, б) Lionsele P

Загальне машинобудування також часто потребує великих зусиль, але менших, ніж важка промисловість, тому для них часто використовують звичайні манжетні ущільнення (рис. 6). А в місцях, де тиски не такі високі (до 10 МПа), можуть бути використані традиційні кільцеві ущільнення (O-ring) [7, 8].



Рис. 6. Прикладі профілів манжетних ущільнень

Для врахування особливостей застосування часто використовують

комбіновані ущільнення. Наприклад, в ущільненнях, де додатково використовується фторопласт, може бути забезпечена набагато вища швидкість руху (до 4 м/с), що пов'язано з низьким коефіцієнтом тертя матеріалу. Також до переваг комбінованих ущільнень з фторопластом можна віднести хімічну стабільність, гідрофобність, високу максимальну температуру експлуатації [4, 5, 9], що дозволяє використовувати його в металургійній, хімічній та енергетичній галузях. Також можливий варіант покриття фторопластом інших матеріалів ущільнень, що значно зменшує коефіцієнт тертя ущільнення (рис. 7) [6].

Деякі еластомери можуть також мати високу максимальну температуру, до $+327^{\circ}\text{C}$, але їх додатковою перевагою є можливість використання і в середовищах з низькими температурами, до -50°C [10, 11]. Цей факт дозволяє застосовувати їх у мобільних машинах з холодним пуском без попереднього підігріву рідини, що, як правило, негативно впливає на термін служби рідини. Ця властивість забезпечує, окрім широкого використання в хімічній та металургійній промисловості, застосування в аерокосмічній техніці.

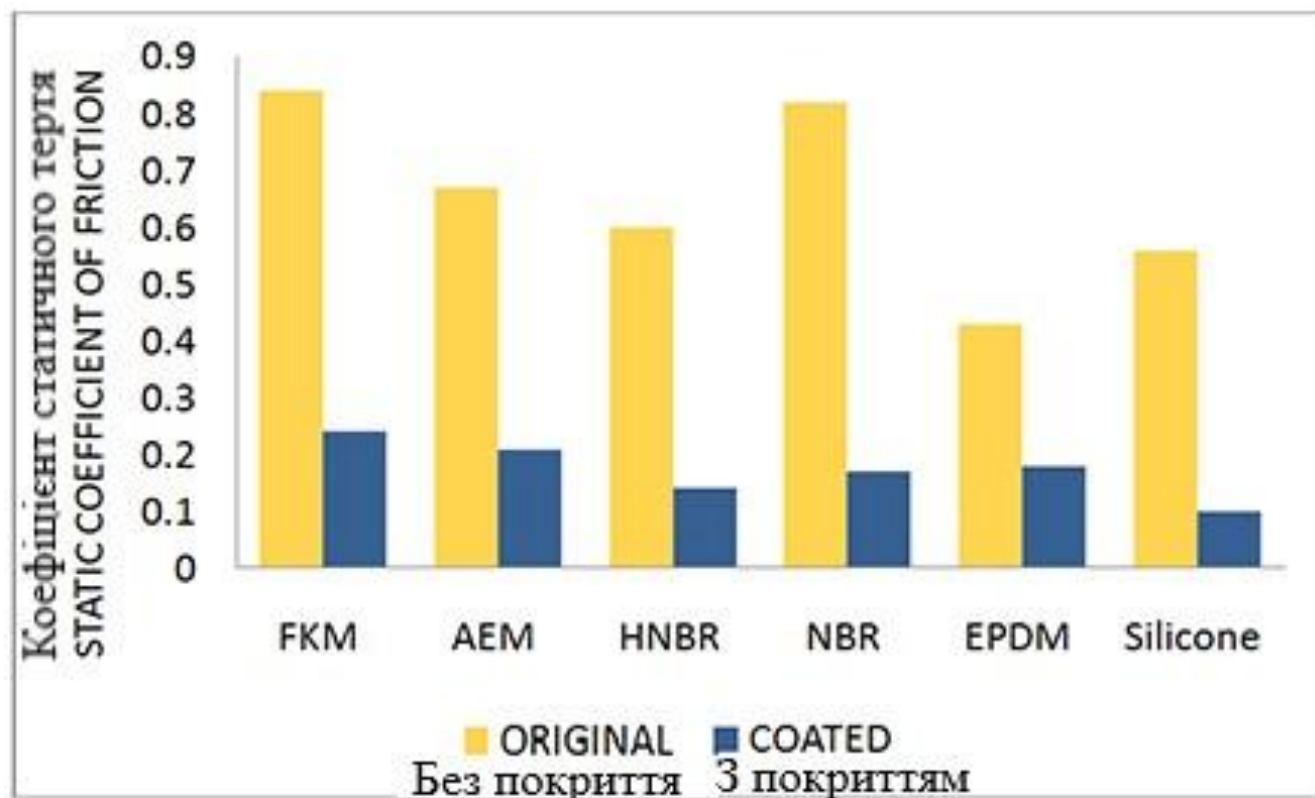


Рис. 7. Діаграма коефіцієнтів тертя матеріалів з покриттям фторопластом (синій) та без нього (жовтий)

Проведений аналітичний огляд показав, що для раціонального вибору типу і матеріалу ущільнення в залежності від галузі використання гідроциліндра актуальною задачею є створення методики вибору ущільнювачів, яка повинна впорядкувати розв'язання наступних задач:

1. Окреслення галузі використання.
2. Врахування умов експлуатації (температура оточуючого середовища, вологість, відкрите/закрите середовище).
3. Врахування робочих параметрів обладнання (швидкість руху, номінальний тиск, термін і періодичність роботи).
4. Врахування типу робочої рідини.
5. Остаточний вибір матеріалу та форми ущільнення.

Висновки. За результатами аналізу конструктивних рішень можна вважати, що найбільш розповсюджені ущільнення, здебільшого, мають U – подібну форму (манжети) та виготовлені з каучукових резин. З недоліків такої форми можна виділити можливість герметизації (роботи) лише в одну сторону, високе тертя, низьку зносостійкість. Високий максимальний тиск та простота конструкції є безумовними перевагами. Сучасне різноманіття матеріалів та форм ущільнювачів і брудоз'ємників є дуже великим, що віддзеркалює різноманіття режимів, умов та особливостей використання в кожній галузі промисловості. Кожен матеріал та форма ущільнення має свої переваги та недоліки, різні комбінації матеріалів можуть бути ефективними тільки в певних сферах та умовах. Ціна та доступність матеріалів ущільнень мають одну з ключових ролей в багатьох напрямках використання гідравлічного обладнання. Для створення конкурентоспроможного гідроприводу актуальною задачею є створення інженерної методики для визначення раціонального типу, матеріалу та конструкції ущільнюючих елементів з врахуванням як традиційних рішень, так і новітніх розробок і матеріалів.

Список використаних джерел:

1. Элементы гидропривода. (Справочник). Изд. 2-е, перераб. и доп. Абрамов Е. И., Колесниченко К. А., Маслов В. Т. Киев, «Техника», 1977. 320 с.
2. Дрекслер П., Фаатц Х., Файхт Ф. Проектирование и сооружение гидроустановок. Учебный курс гидравлики, том 3. Mannesmann Rexroth, RSU 00 281/10.88, Lor-am-Main, 1988-375 p.
3. The Properties Of Hydraulic Cylinder Seal Materials [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://blog.berendsen.com.au/the-properties-and-characteristics-of-hydraulic-cylinder-seal-materials>.
4. PEEK Seals – where thermal and mechanical resistance matters [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.barnwell.co.uk/products/peek-seals-uk/>.
5. PEEK – Polyetheretherketone [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.fst.com/sealing/products/materials/peek>
6. Material Reference Chart [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.systemseals.com/wp-content/uploads/Materials-reference-chart_All.pdf.
7. <https://www.jameswalker.biz>
8. Fitzpatrick K. Why PEEK is the Best Material for Manufacturing Industrial Seals [Електронний ресурс] / Kathy Fitzpatrick. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sspseals.com/blog/peek-best-material-manufacturing-industrial-seals/>.
9. <https://www.gmors.com>
10. FFKM Perfluoroelastomer [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://o-ring.info/en/materials/kalrezr--ffkm>.
11. <http://polymerdatabase.com/Elastomers/FFKM.html>