

М.П. Ремарчук, О.О. Суранов, Г.М. Афанасов

Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

## ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ГІДРОЦИЛІНДРІВ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

У статті розглянуто актуальне науково-прикладне питання збільшення ресурсу гідроприводу підйомно-транспортних та вантажно-розвантажувальних машин за рахунок автоматичного самоцентрування штоків й усунення однобічного зносу штокових ущільнень гідроциліндрів. Запропоновано принципово нову конструкцію штокового вузла гідроциліндра.

**Ключові слова:** гідропривід підйомно-транспортних машин, штоковий вузол гідроциліндра, ущільнення, однобічний знос штокового вузла, самоцентрування.

### Постановка проблеми

Переважає більшість підйомно-транспортних та вантажно-розвантажувальних машин оснащена гідравлічним приводом.

Одним із найпоширеніших виконавчих елементів, які здійснюють зворотно-поступальні та обертальні переміщення, є гідроциліндри, для яких характерний однобічний знос штокових ущільнень.

Відомі штокові вузли являють собою еластичну втулку, вмонтовану у корпус гідроциліндра, яка охоплює шток з гарантованим зазором.

При роботі вузла у зазорі між штоком і втулкою утворюється щільне ущільнення, яке перешкоджає витoku робочої рідини із порожнини високого тиску і центрує шток у втулці.

Однак для забезпечення надійного центрування штока необхідні інтенсивні витрати робочої рідини через щілини, що призводить до значних витоків робочої рідини, а також до зниження ККД вузла. При оптимальному зазорі центрування не забезпечується, що спричинює зниження довговічності вузла через нерівномірний знос втулки і штока.

Тому розробка нових конструкцій штокових ущільнень, які забезпечують самоцентрування, є актуальним завданням.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Тенденції розвитку сучасних гідроприводів будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин спрямовані на підвищення тиску робочої рідини до 32 МПа (320 кг/см<sup>2</sup>) [1]. Це пред'являє певні вимоги до конструкцій ущільнень гідравлічних циліндрів – основних робочих органів. Проведений аналіз факторів, які знижують довговічність ущільнень пар зі зворотно-поступальним рухом, показує, що їх можна розподілити на декілька типів: знос, старіння, експлуатаційні фактори, конструктивні фактори.

### Мета статті

Метою цієї статті є розробка та опис принципово нової конструкції самоцентрувального штокового ущільнення, яке дозволяє збільшити ресурс гідроциліндрів підйомно-транспортних та вантажно-розвантажувальних машин без використання додаткових пристроїв.

### Виклад основного матеріалу

Оскільки знос та старіння ущільнень проходять відносно повільно, а вплив експлуатаційних факторів на довговічність ущільнень штокових вузлів гідроциліндрів можливо усунути або знизити шляхом більш помірної експлуатації (мається на увазі зниження пікових навантажень, швидкості, реверсу та ін.), то вплив конструктивних факторів неможливо усунути таким шляхом, вони закладені в конструкцію ущільнення штокового вузла та ущільнення гідроциліндра, тому доцільно розглянути ці фактори докладніше.

До конструктивних факторів слід віднести:

– великі зазори між деталями, що ущільнюються, призводять до екструзії матеріалу ущільнення в зазор [2] та до швидкого виходу з ладу всього вузла. Малі зазори, які рекомендовані роботою [3], суперечать вимогам [4, 5]. Суперечність пояснюється тим, що чим менше зазор, тим надійніше працює ущільнення. Однак зменшення зазорів потребує підвищеної точності виготовлення сполучуваних деталей, що призводить до різкого подорожчання вузла;

– ексцентричність навантаження на гідроциліндри виникає при нерівномірному навантаженні, при роботі декількох гідроциліндрів на одне навантаження, а також коли конструктор розташував гідроциліндр горизонтально і він прогинається, вибираючи усі конструктивні зазори, під власною вагою, особливо це небезпечно наприкінці ходу [1, 6].

Ексцентричність навантаження призводить до одностороннього зносу ущільнень та напрямних вузлів штоків;

– перекося штоків гідроциліндрів спричинені здебільшого недостатньо високими вимогами до точності виготовлення деталей штокових вузлів. Це призводить до виникнення одностороннього зазору між штоком та напрямними, куди під дією тиску робочої рідини витискується матеріал ущільнення. Ущільнення, яке працює в такому режимі, швидко виходить з ладу. Прагнення конструкторів позбавитися зазначених явищ призводить до розробки гідроциліндрів з подовженими напрямними втулками та зменшеними зазорами між втулкою та штоком, що також призводить до погіршення умов роботи ущільнення. Адже шток, що рухається з прямої з малим зазором, створює додатковий гідродинамічний тиск на ущільнення, яке може вийти з ладу на першому ж ході [7].

Отже, перелічені конструктивні фактори у кінцевому підсумку призводять до одностороннього зносу ущільнення, що значно знижує довговічність всього штокового вузла гідроциліндра. Тобто односторонній знос неможливо усунути використанням жорстких напрямних для штоків.

На основі проведеного аналізу недоліків конструкцій штокових вузлів гідроциліндрів розроблено принципово нові. Це призвело до побудови комбінованих ущільнень, які виконують одночасно дві функції: ущільнення та направлення штока.

#### Комбіновані ущільнення.

Комбіновані ущільнення можна віднести до пасивних комбінованих ущільнень (тобто ущільнень, які не потребують енергії ззовні). Приклад такої конструкції показано на рис. 1.

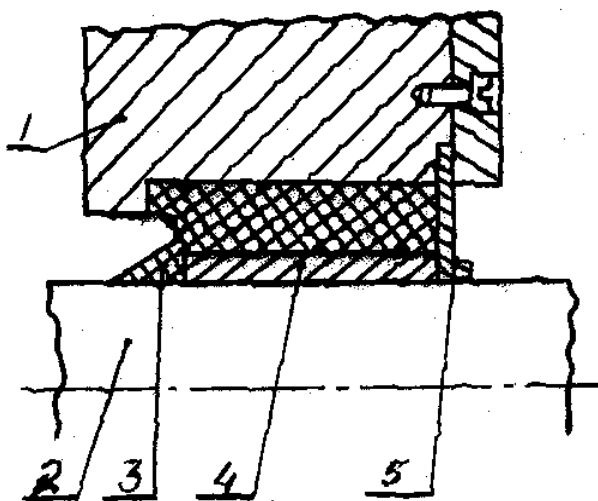


Рис. 1. Штоковий вузол гідроциліндра з використанням комбінованого ущільнення: 1 – корпус гідроциліндра; 2 – шток гідроциліндра; 3 – ущільнення; 4 – напрямна втулка; 5 – стальне кільце

Перевага комбінованих ущільнень перед конструкціями наявних штокових вузлів у тому, що вони допускають перекося штока, а також його радіальне переміщення. До недоліків комбінованих пасивних ущільнень слід віднести недостатню довговічність, яка пов'язана з тим, що знос прямої втулки 4 не компенсується, що призводить до зростання витoku робочої рідини.

Означені недоліки комбінованих ущільнень штокових вузлів гідроциліндрів частково усунені у наступних відомих конструкціях [9, 10].

Один із відомих штокових вузлів гідроциліндра має напрямну металічну втулку, яка змонтована у корпусі гідроциліндра та охоплює шток з гарантованим зазором. На внутрішній поверхні втулки рівномірно по колу виконані ексцентричні розточки, які за допомогою дросельних каналів сполучаються з джерелом тиску та витоком робочої рідини. У зібраному стані ексцентричні розточки утворюють з поверхнею штока серповидні порожнини [11].

При проході робочої рідини під тиском через дросельні канали шток гідроциліндра самоцентрується відносно втулки. Це досягається за рахунок того, що тиск рідини в карманах порожнин, які розташовані рівномірно по колу штока, однаковий.

При радіальному зміщенні штока або при його перекосях співвідношення опору перетікання рідини через відповідну частину зазору та дросельні камери змінюється. Це призводить до зміни тиску по перетину штока і появи сили, яка відновлює положення штока та забезпечує центрування штока у втулці.

Однак, з огляду на те, що у відомому пристрої як зливний дросель використовується щільний дросель, зазор між штоком і прямою втулкою повинен бути мінімальним для забезпечення оптимальної витрати робочої рідини. Ця пара – втулка–шток – повинна бути виготовлена з високою точністю. При цьому незначні погрішності виготовлення, а також деформації при роботі вузла спричиняють підвищений знос, що знижує надійність та довговічність штокового вузла гідроциліндра.

Ці недоліки можливо усунути за допомогою активних комбінованих ущільнень. До уваги читачів пропонується один приклад такої конструкції, представленої на рис. 2.

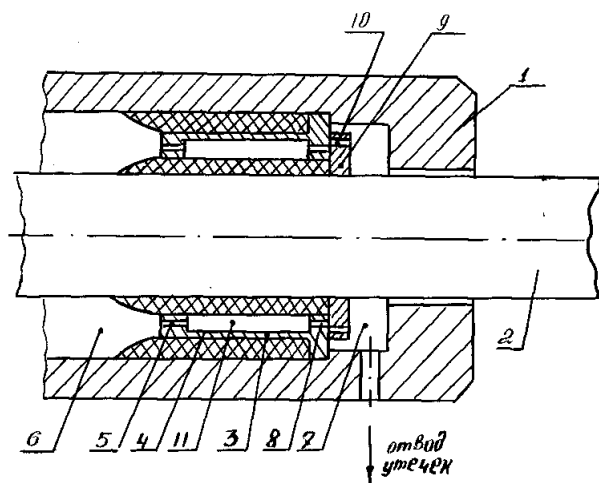


Рис. 2. Штоковий вузол гідроциліндра з комбінованим гідростатичним ущільненням: 1 – корпус гідроциліндра; 2 – шток гідроциліндра; 3 – напрямна втулка; 4 – ексцентричні розточки; 5 – дросельні канали; 6 – порожнеча високого тиску; 7 – порожнеча зливу мастила; 8, 10 – зливні дроселі; 9 – золотникове кільце; 11 – серповидні кишені

### Запропонована конструкція.

Являє собою гідростатичне самоцентрувальне ущільнення з компенсацією зносу. Метою створення такого ущільнення є підвищення надійності та довговічності штокового вузла гідроциліндра.

Мета досягається тим, що штоковий вузол гідроциліндра, який має змонтовану у корпусі 1 та таку, що охоплює шток 2, напрямну втулку 3, на внутрішній поверхні якої рівномірно по колу виконані ексцентричні розточки 4, які за допомогою дроселів 5 з'єднуються зі штоковою порожнечою 6 гідроциліндра, а з витоком 7 – за допомогою зливних отворів 8, має золотникове кільце 9 з отворами, розташоване зі сторони витоку та притерте до торця втулки 3. У золотниковому кільці 9 виконані отвори 10 відповідно до дросельних отворів 8 зі зсувом відносно останніх у радіальному напрямку так, що в центральному положенні штока 2 в корпусі 1 гідроциліндра названі дросельні отвори 8 перекриті тілом золотникового кільця 9. Напрямна втулка 3 з внутрішньої та зовнішньої сторони покрита гумою, при цьому в місцях розташування ексцентричних розточок 4 створюються серповидні кишені 11. Золотникове кільце 9 з'єднано з гумовою частиною втулки 3, завдяки чому досягається виключення можливості повороту кільця 9 в радіальному напрямку. Таке конструктивне рішення штокового вузла гідроциліндра дозволяє забезпечити надійне центрування штока в напрямній втулці незалежно від величини зазору між ними. Завдяки цьому компенсуються неточності виготовлення пари втулка–шток; деформації штока, які можливі в процесі експлуатації, не призводять до інтенсивного зносу деталей вузла; виключається

заклинювання штока у втулці, компенсується знос деталей вузла. У такий спосіб підвищується надійність роботи штокового вузла та його довговічність.

Штоковий вузол працює таким чином.

При подачі тиску в штокову порожнечу 6 гідроциліндра робоча рідина заповнює кишені 11 по дросельним каналам 5 та притискає внутрішню гумову частину втулки 3, змонтованої в корпусі 1 гідроциліндра, до штока 2. При цьому зливні дросельні отвори 8 закриті золотниковим кільцем 9. Оскільки кишені 11 розташовані у втулці 3 рівномірно по колу і тиск в них однаковий, то втулка 3 рівномірно притискається до штока 2, забезпечуючи центральне положення останнього.

При пересуванні штока 2 під дією радіального навантаження разом з ним пересувається золотникове кільце 9, а втулка 3 залишається у тому ж положенні. При пересуванні золотникового кільця 9 відносно втулки 3 дросельні отвори 8, які розташовані зі сторони дії радіального навантаження, сполучаються з отворами 10, у такий спосіб з'єднуючи відповідну кишеню 11 зі зливом 7. При цьому тиск у кишені 11 падає до величини тиску зливу, тиск робочої рідини в інших кишенях 11, зокрема і у розташованих діаметрально протилежно напрямку дії радіального навантаження, залишиться на тому ж рівні, тобто рівним тиску в порожнечі 6. Перерозподіл тиску у кишенях 11 призводить до зміни реакції останніх на шток 2 та виникнення сили, що відновлює положення штока в сторону, протилежну напрямку дії радіального навантаження. Під дією сили реакції шток 2 повертається в початкове положення, тобто займає центральне положення в гідроциліндрі.

Таке конструктивне виконання штокового вузла гідроциліндра дозволяє забезпечити надійне центрування штока у втулці незалежно від величини зазору між ними.

Техніко-економічне значення винаходу полягає у підвищенні надійності штокового вузла завдяки центруванню штока у втулці і у зниженні зносу деталей.

### Висновки

1. Аналіз тенденцій розвитку конструкцій штокових вузлів гідроциліндрів показав, що серед наявних конструкцій виникли принципово нові типи, які виконують одночасно дві функції: напрямних штока та ущільнення. Серед них привертають до себе увагу комбіновані активні та пасивні штокові ущільнення.

2. Пасивні комбіновані ущільнення штокових вузлів гідроциліндрів відрізняються від традиційних тим, що вони дають можливість переміщень штоку в радіальному напрямку, а також допускають невеликі перекося штока, компенсуючи неточності зборки та монтажу вузла.

3. Активні комбіновані ущільнення мають такі ж переваги, що і пасивні комбіновані ущільнення, та додатково компенсують знос напрямної втулки, що підвищує довговічність усього штокового вузла гідроциліндра.

### Література

1. Ремарчук М.П. Удосконалення схеми підключення силових гідроциліндрів в складі високомоментних гідромоторів / М.П. Ремарчук, Я.В. Чмуж, С.І. Овсянніков // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2010. – Вип. 58. – С. 147–151.
2. Іванчук, Я. В. I-86 Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. Частина 1. Основні закони, рівняння і визначення : навчальний посібник / Я. В. Іванчук, Р. Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 183 с.
3. Омельченко О.В., Цвіркун Л.О. Гідравлічні машини : навч. посіб. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2020. – 100 с.
4. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : конспект лекцій / укладач Е. В. Колісниченко, А. С. Мандрика, В. О. Панченко. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 176 с.
5. Журавель Д. П. Ж 83 Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: Підручник для здобувачів вищої освіти / Д. П. Журавель, І. П. Паламарчук, С. М. Уманський, В. І. Паламарчук; за ред. Д. П. Журавля. – Київ: ЦП «Компринт», 2021. – 449 с.
6. Schader K. Hidraulika munkaeugeterek dugattuyes'duggatjusza'z - tomite'seiner ieggyakoribb meghibaso-da'sai. Gep, 1981, 33, p. 467–471.
7. Hydraulikadichtungen (матеріали фірми "STEFA")
8. Schmit M. Les degradation prematarecs disjoints d'etancheite hydraulique. Energie fluid hydraulique pneumatique, asservissements lubrification, 1975, 14, №77, p. 70–73, №78, p. 68–73.
9. Lang S. Entwicklungen der Hydraulik in Traktoren und Landmaschinen / Lang Sten, Romer Axel, Seeger Jorg // O+P —Ölhydraulik und PneumatikI – 1998. – 42 – №2. – P. 87–94. 140
10. Pazola C. Badania parametrow pracy i trwalosci wezlow uszczelniajacych stosowanych w silownikach hydraulicznych / Pazola Czeslaw, Wolodzko Jozef, Wolowiec Jerzy // Hydraulika i pneumatyka. – 2001. – №3. – P. 28–31.
11. Prikkel K. Algoritmizacia kriterii pre obvody s proporcionalnymi ventilmii / Prikkel Karol // Hydraulika i pneumatyka. – 2002. – №4. – P. 31–33.
4. Hydraulics, hydraulic and pneumatic drives: lecture notes / compiled by E.V. Kolisnichenko, A.S. Mandryka, V.O. Panchenko. – Sumy: Sumy State University, 2021. – 176 p. [in Ukrainian]
5. Zhuravel D. P. Zh 83 Hydraulics, hydraulic and pneumatic drives: Textbook for students of higher education / D. P. Zhuravel, I. P. Palamarchuk, S. M. Umanskyi, V. I. Palamarchuk; under the editorship D.P. Crane. - Kyiv: CP "Comprint", 2021. - 449 p., illustrations [in Ukrainian]
6. Schader K. Hidraulika munkaeugeterek dugattuyes'duggatjusza'z - tomite'seiner ieggyakoribb meghibaso-da'sai. Gep, 1981, 33, p. 467–471 [in German]
7. Hydraulikadichtungen (materials of the firm "STEFA") [in German]
8. Schmit M. Les degradation prematarecs disjoints d'etancheite hydraulique. Energie fluid hydraulique pneumatique, lubrication services, 1975, 14, No. 77, p. 70–73, No. 78, p. 68-73 [in German]
9. Lang S. Entwicklungen der Hydraulik in Traktoren und Landmaschinen / Lang Sten, Romer Axel, Seeger Jorg // O+P —Ölhydraulik und PneumatikI – 1998. – 42 – №2. – P. 87–94. 140 [in German]
10. Pazola C. Badania parametrow pracy i trwalosci wezlow uszczelniajacych stosowanych w silownikach hydraulicznych / Pazola Czeslaw, Wolodzko Jozef, Wolowiec Jerzy // Hydraulika i pneumatyka. – 2001. – №3. – P. 28–31 [in Polish]
11. Prikkel K. Algoritmizacia kriterii pre obvody s proporcionalnymi ventilmii / Prikkel Karol // Hydraulika i pneumatyka. – 2002. – №4. – P. 31–33 [in Slovak]

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Д.А. Плугін, Український державний університет залізничного транспорту, Україна.

**Автор:** РЕМАРЧУК Микола Парфенійович  
доктор технічних наук, професор, професор кафедри  
машинобудування та технічного сервісу машин  
Український державний університет залізничного  
транспорту

E-mail – [remarchyk@ukr.net](mailto:remarchyk@ukr.net)

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4003-5107>

**Автор:** СУРАНОВ Олексій Олексійович  
кандидат технічних наук, старший викладач кафедри  
машинобудування та технічного сервісу машин  
Український державний університет залізничного  
транспорту

E-mail – [suranov3@kart.edu.ua](mailto:suranov3@kart.edu.ua)

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8449-2038>

**Автор:** АФАНАСОВ Георгій Михайлович  
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри  
машинобудування та технічного сервісу машин  
Український державний університет залізничного  
транспорту

E-mail – [0674274770@ukr.net](mailto:0674274770@ukr.net)

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1730-1785>

## INCREASING THE DURABILITY OF HYDRAULIC CYLINDERS OF LIFTING AND TRANSPORTING MACHINES

M. Remarchuk, O. Suranov, H. Afanasov

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

*Most lifting and transporting and loading and unloading machines have a hydraulic drive. One of the most common actuators that perform reciprocating and rotary movements are hydraulic cylinders, characterised by one-sided wear of the rod seals. Known rod assemblies are elastic sleeves mounted in the hydraulic cylinder housing, which covers the rod with a guaranteed gap.*

*During the unit operation, a gap seal forms in the gap between the rod and the sleeve, which prevents the leakage of the working fluid from the high-pressure cavity and centres the rod in the sleeve. However, to ensure the reliable centring of the rod, the intensive flow of the working fluid through the gaps is required, which leads to significant leaks of the working fluid and a decline in the unit efficiency. The optimal gap does not ensure centring, leading to reduced unit durability due to uneven wear of the sleeve and rod. Therefore, the development of new designs of rod seals that ensure self-centring is an urgent task.*

*The development trends of modern hydraulic drives of construction, track, and loading and unloading machines aim at increasing the pressure of the working fluid up to 32 MPa. It imposes specific requirements on the designs of seals of hydraulic cylinders – the core executive bodies. The analysis of the factors that reduce the durability of reciprocating pair seals shows that it is possible to divide them into several types: wear, aging, operational, and design factors.*

*The article aims to develop and describe a fundamentally new design of a self-centring rod seal, which can increase the durability of hydraulic cylinders of lifting-transporting and loading-unloading machines without using additional devices.*

*The analysis of trends in the development of constructions of rod units of hydro cylinders showed that fundamentally new types have emerged among the existing designs, which simultaneously perform two functions – rod guides and sealing. The most notable among them are combined active and passive rod seals.*

*Passive combined seals of rod assemblies of hydro cylinders differ from traditional ones in that they allow rod movements in the radial direction and allow slight distortions of the rod, compensating for assembly and installation inaccuracies of the assembly.*

*Active combined seals have the same advantages as passive combined seals but additionally compensate for the wear of the guide sleeve, which increases the durability of the entire rod assembly of the hydraulic cylinder.*

**Keywords:** *hydraulic drive of lifting and transporting machines, hydraulic cylinder rod assembly, sealing, one-sided wear of the rod assembly, self-centring.*