

УДК 629.57

## ЕКОЛОГІЧНА ЧИСТА ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА

**В. Алексієнко**

Доцент, канд. техн. наук,  
Національний університет  
кораблебудування  
імені адмірала Макарова,  
м. Миколаїв

*Пропонується високоекономічний пристрій на водяній подушці, який застосовують для переміщення і монтажу важких конструкцій і обладнання в різних галузях машинобудування, зокрема в кораблебудуванні. Поряд з високою вантажопідйомністю, пристрій відрізняється простотою конструкції, компактністю і мінімальними експлуатаційними витратами. Так, при переміщенні вантажу масою в 100 т на відстані 100 м і підйому його на висоту 0,1 м питомий тиск пристрою і питома витрата води на одну тонну складає відповідно 4 кг с т і 0,001 м<sup>3</sup>/т, а сила опору при переміщенні вантажу не перевищує 5000 — 7000 Н. Такі експлуатаційні показники досягаються за рахунок збільшення питомого тиску у водяній подушці до 196 кПа і зменшення коефіцієнта тертя ковзання до 0,005. Полоз оснащений апаратурою контролю і керування, яка дає змогу одній людині виконати всі технологічні операції під час транспортування різних виробів.*

транспортна система, екологія, водяна подушка, кораблебудування

Дослідження умов роботи систем на повітряній подушці, що застосовуються для транспортування вантажів, показали, що потрібно створити конструкцію ущільнення, яке б забезпечило працездатність і надійність таких систем при мінімальній витраті рідини.

Протягом декількох років авторами були зроблені спроби дослідити вибір раціональної форми контактної торцевої ущільнення з еластичним елементом [1, 2]. Усі дослідженні ущільнення застосовуються для рухомих з'єднань зворотно-поступового або обертового рухів.

З розглянутої кількості варіантів контактних ущільнень найбільш реальним буде контактне торцеве ущільнення з еластичним елементом, розроблене автором. Це ущільнення виконано у вигляді кільця з еластичного матеріалу і має виступи прямокутної і клиноподібної форми.

Мета статті – дослідити конструкцію торцевої контактної ущільнення екологічно чистої системи і визначити контактний тиск у цьому ущільненні.

**Постановка задачі.** Розглянуте ущільнення є новим, і тому за розрізненими дослідженнями в області торцевих

ущільнень неможливо використовувати існуючі теорії розрахунку геометричних, видаткових та інших характеристик такого ущільнення. На сьогодні немає інформації про роботу контактних торцевих ущільнень з еластичним елементом, що стосуються екологічно чистих систем транспортування вантажів. Не розроблені рекомендації з вибору геометричних параметрів торцевих ущільнень з еластичним елементом, відсутні рекомендації з вибору матеріалу для цих ущільнень, які б задовольняли потреби для низького тертя і зносу.

У зв'язку з цим, потрібно розробити конструкцію ущільнення гідравлічного модуля екологічно чистої транспортної системи, яка за своїми техніко-екологічними показниками перевершувала б сучасні транспортні пристрої. Розробити методику розрахунку торцевих контактних ущільнень, що працюють у режимі поступального руху в таких транспортних пристроях.

**Конструкція транспортної системи.** Для переміщення й монтажу конструкцій і машин, а також переміщення і стикування секцій суден за рахунок позиціону-

вання в повздовжньому і поперечному напрямках була створена транспортна система за допомогою засобів гідравліки.

У розвинутих країнах почали застосовувати транспортні засоби, що працюють за принципом «повітряна» і «водяна» подушки. Досвід застосування таких пристроїв показав, що в багатьох випадках вони можуть бути значно економічнішими, ніж колісні. Перспективними галузями застосування таких пристроїв можна визначити: збирання секцій і блоків корпусу судна і транспортування цих конструкцій до будівельних місць, відмовившись від дорогих колісних платформ для переміщення важких вантажів, спростити підйомно-транспортні операції і зменшити їхню трудомісткість, підвищити точність збирання і покращити умови техніки безпеки праці.

Зазначені переваги свідчать про те, що транспортні пристрої на повітряній і водній подушці заслуговують пильної уваги і дослідження.

Транспортування важких вантажів на повітряній подушці пов'язане з великими витратами повітря заданого тиску, для отримання якого потрібні компресори значної потужності, що призведе до великих витрат електроенергії на одну тону переміщення вантажу. Тому повітря почали змішувати з водою.

Відомі транспортні пристрої на водній подушці мають низку недоліків, які знижують їхню ефективність і обмежують застосування. Головним недоліком є те, що між опорною доріжкою і гнучким ущільненням утворюється водяна плівка з безперервним витіканням рідини у довкілля на всьому шляху переміщення. Витрати води на насосній станції при цьому складають від 2,4 до 25,3 м<sup>3</sup>/год. Така витрата обмежує величину тиску у водній подушці і підйомну силу транспортного пристрою.

Простішим технічним рішенням основного вузла таких пристроїв є гідравлічний модуль, принципова схема якого показана на рис. 1. Гідравлічний модуль складається з поршня, запірного клапана і корпусу, на якому закріплене торцеве гнучке ущільнення, виготовлене з поліхлорвінілу. Завдяки такому ущільненню між корпусом і опорною доріжкою утворюється замкнута герметична порожнина.

На боковій поверхні поршня встановлене магнітне ущільнення, за допомогою якого герметизується внутрішня поверхня корпусу. На корпусі змонтований запірний

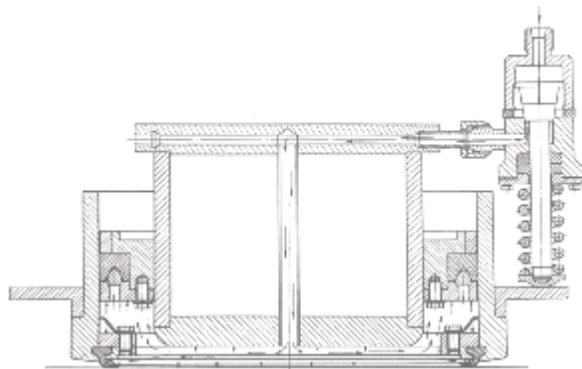


Рис. 1. Гідравлічний модуль екологічно чистої транспортної системи

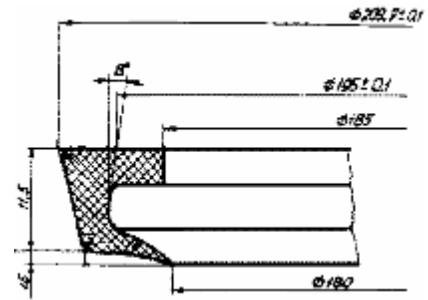


Рис. 2. Запропоноване ущільнення

клапан, який регулює висоту підйому поршня відносно опірної доріжки і об'єм рідини в замкнутій порожнині.

Переміщення транспортної системи з гідравлічним модулем по поверхні доріжки (зварені листи нержавіючої сталі) здійснюється так: рідина по гнучкому шлангу через запірний клапан поступає у внутрішню порожнину поршня, далі подається в замкнуту герметичну порожнину, утворену опорною доріжкою, корпусом і поршнем. Останній переміщується у вертикальній площині на задану висоту і запірний клапан автоматично перекриває подачу рідини в замкнуту порожнину. Після цього транспортна система з гідравлічними модулями готова до переміщення вантажу.

Метою створення такого гідравлічного модуля є підвищення несучої здатності екологічно чистих транспортних систем — зменшення витрати води і стискаючого зусилля при переміщенні вантажу.

Зазначена мета досягається тим, що ущільнення корпусу гідравлічного модуля виконано у вигляді кільця з еластичного матеріалу, який має виступи прямокутної і клиноподібної форми (рис. 2).

Запропоноване ущільнення дає можливість зменшити витрати води при переміщенні вантажу і збільшити тиск у водній подушці за рахунок клиноподібного виступу, в результаті чого підвищується несуча здатність гідравлічного модуля і надійність герметизації водної подушки.

На сьогодні немає інформації про роботу контактних торцевих ущільнень з еластичним елементом в системах транспортування вантажів, не розроблені рекомендації з вибору геометричних параметрів торцевих ущільнень з еластичним елементом, відсутні рекомендації з вибору матеріалу для цих ущільнень, які б задовольняли вимоги малого тертя і зносостійкості.

У зв'язку з цим виникла потреба визначити контактний тиск в еластичному ущільненні системи підйому і переміщення вантажів.

Відповідно до принципу роботи контактних ущільнень з еластичним елементом систем підйому і переміщення вантажів контактний тиск за рахунок пружних сил деформації стиску визначає як умови герметизації і розгерметизації, так і сили тертя при його переміщенні.

Особливість визначення контактного тиску полягає у розгляді можливих конфігурацій нерухомого ущільнення в характерних режимах (рис. 2) і залежить від навантаження  $F$  та перепаду тиску робочої рідини

$$\Delta p = p_2 - p_1,$$

де  $p_2$  — атмосферний тиск;  $p_1$  — тиск у герметичній порожнині.

Детальний розгляд наведених конфігурацій контакт-ного ущільнення з еластичним елементом проводився авторами на експериментальній установці. При цьому ущільнення контактувало з прозорою опорною поверхнею. На жаль, експериментально визначити ширину контактної поверхні важко.

За дії навантаження на виступаючу частину ущільнення (рис. 3) і нульовому перепаді тиску середній контактний тиск визначається подібно до плоских прокладок [2]:

$$\bar{p}_k = \frac{4F}{\pi(D_1^2 - D_2^2)}.$$

Збільшення перепаду тиску  $\Delta p$  робочої рідини розвантажує виступаючу частину ущільнення, і середній контактний тиск визначається так:

$$\bar{p}_k = \frac{4 \left( F - \Delta p \frac{\pi D_2^2}{4} \right)}{\pi(D_1^2 - D_2^2)}.$$

При цьому вусова частина не може формувати контактний тиск через те, що герметичність ущільнення забезпечується контактним тиском виступаючої частини.

Через незмінність об'єму виступаючої частини контактного ущільнення з еластичним елементом,

$$V = AH = A_{\text{ДЕФ}}(H - \Delta h),$$

при модулі пружності  $E$  напруження

$$\sigma = \bar{p}_k = \frac{\Delta h}{H - \Delta h} E = E \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon},$$

де  $A$ ,  $A_{\text{ДЕФ}}$  — площа недеформованої і деформованої виступаючих частин;  $H$ ,  $h$  — товщина виступаючої частини у недеформованому і деформованому станах;  $\varepsilon = \Delta h/H$  — відносна деформація стиску;  $E$  — модуль пружності матеріалу ущільнення.

З ростом перепаду тиску на ущільнення (рис. 3,а) форма не є стійкою і стрибкоподібно переходить в іншу форму (рис. 3,б). Таким чином, одному і тому ж навантаженню безпосередньо перед переходом і відразу ж після нього відповідає дві різні конфігурації ущільнення. Причиною переходу є дія тиску  $p = \pi \Delta p D_2 h$ , що прагне зрушити виступаючу частину, і сили тертя  $p_f$ , що перешкоджає зсуву. Критичний перепад тиску  $\Delta p_{\text{кр}}$ , при якому почнеться «перехід» з положення (рис. 3,а) у положення (рис. 3,б), визначається з умови

$$p_f = f \left( F - \Delta p_{\text{кр}} \frac{\pi D_2^2}{4} \right),$$

звідки

$$\Delta p_{\text{кр}} = \frac{Ff}{\left( \pi D_2 h + f \frac{\pi D_2^2}{4} \right)},$$

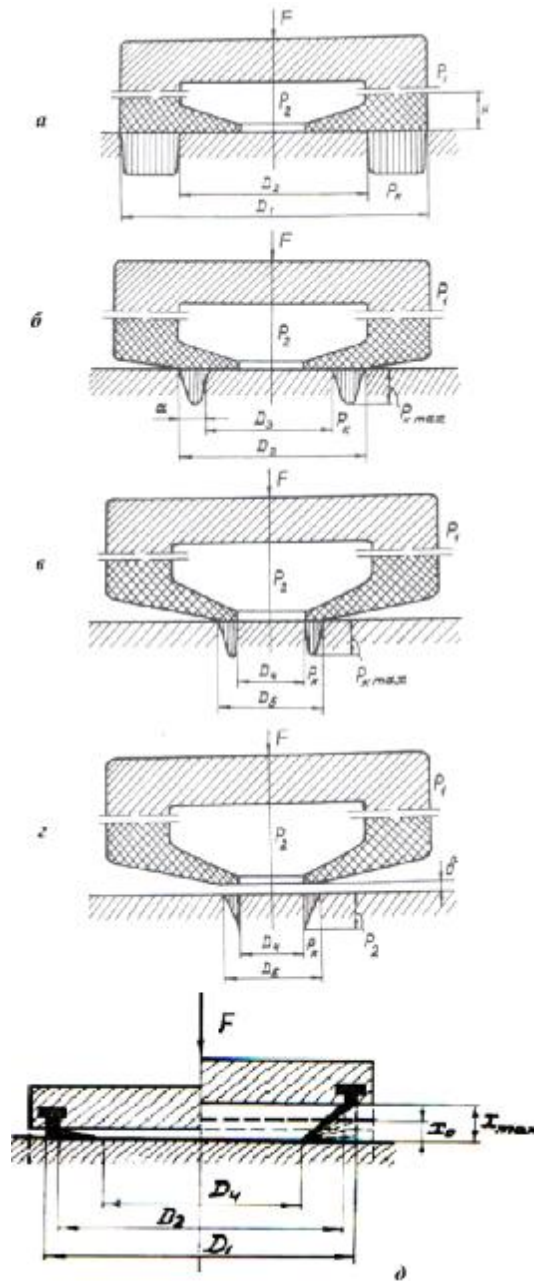


Рис. 3. Можливі конфігурації нерухомого ущільнення в характерних режимах

де  $f$  — коефіцієнт тертя виступаючої частини ущільнення по опорній поверхні.

Перехід з положення (рис. 3,а) у положення (рис. 3,б) при  $\Delta p_{\text{кр}}$  формує новий контактний тиск, що забезпечує герметичність ущільнення за допомогою вусової частини, і середній контактний тиск визначається як

$$p_k = \frac{4 \left( F - \Delta p \frac{\pi D_3^2}{4} \right)}{\pi(D_2^2 - D_3^2)}.$$

Невизначеність ширини ущільнювального контакт-ного пояса, обумовленого діаметрами  $D_2$  і  $D_3$ , можливо усунути гіпотетичним представленням зони контакту

поверхні вусової частини як кільця круглого перерізу діаметром  $d$ , рівним товщині вусової частини ущільнення у відповідному перерізі, з твердою поверхнею. Передбачуваний максимальний контактний тиск [2]

$$p_{\max} = 0,9\sqrt{\frac{\bar{p}E}{d}},$$

де  $p$  — питома стискаюча сила, віднесена до 1 см довжини кільця.

Стискаюча сила визначається з розглянутих сил, що діють на опорну поверхню з боку вусової частини ущільнення. Розподіл контактної тиску по ущільнюючій поверхні за теорією Герца відповідає рівнянню

$$p_{\kappa} = p_{\kappa\max} \sqrt{1 - \left(\frac{x}{d/2}\right)^2}.$$

Середній контактний тиск [2]

$$\bar{p}_{\kappa} = 1,25\varepsilon E,$$

ширина ущільнювального пояса

$$a = d\sqrt{\varepsilon}\sqrt{2-\varepsilon}\left(1 - \frac{0,67}{1-\varepsilon}\right).$$

З подальшим ростом перепаду тиску на ущільнення (рис. 3,б), форма вусової частини не є стійкою, і через подібні собі проміжні форми плавно переходить у форму (рис. 3,в), де середній контактний тиск

$$p_{\kappa} = \frac{4\left(F - \Delta p \frac{\pi D_4^2}{4}\right)}{\pi(D_5^2 - D_4^2)}.$$

Невизначеність з геометричним положенням ущільнювального пояса можна подати як лінійну функцію тиску  $p_2$  при відомих значеннях зазначеної функції для форм вусової частини (рис. 3,б і рис. 3,в).

Форма вусової частини ущільнення (рис. 3,в) сама по собі не стійка і є граничною з формою (рис. 3,г), де ущільнення розгерметизується і утворюється гідростатична течія на кромках вусової частини.

Безпосередньо перед переходом з вусової частини з форми (рис. 3,в) у форму (рис. 3,г) на опорну поверхню діє навантаження з боку вусової частини ущільнення. Умовою розгерметизації є близькість або рівність тиску  $p_r$  максимальному значенню контактної тиску форми (рис. 3,г), що працює подібно торцевому безконтактному ущільненню.

Середній контактний тиск форми (рис. 3,г)

$$p_{\kappa} = \frac{4\left(F - \Delta p \frac{\pi D_4^2}{4}\right)}{\pi(D_6^2 - D_4^2)}.$$

Невизначеність ширини торцевого контактної ущільнення, обумовленого діаметрами  $D_4$  і  $D_6$ , можна усунути гіпотетичним поданням зони течії у вигляді кільцевої щілини зі сталим зазором  $\delta_1$ . Тоді середній контактний тиск оцінюються, як для вузької щілини:

$$p_{\kappa} = p_2 = -\frac{\Delta p}{2}.$$

Величина  $\delta_1$  пов'язана з витратою робочої рідини  $\Theta$  виразом

$$\delta_1 = \sqrt{\frac{6\mu\Theta \ln \frac{D_6}{D_4}}{\pi P_2}},$$

де  $\mu$  — в'язкість робочої рідини.

**Висновок.** Потреба у використанні наведеної методики визначення контактної тиску в контактному торцевому ущільненні з еластичним елементом системи підйому і переміщення вантажу обумовлена явно вираженою нелінійністю в його статичній характеристиці, визначеного як залежність тиску робочої рідини  $p_2$  від величини підйому системи при достатньо великих значеннях  $p_2$ .

## Література

1. *Абрамов Е.К., Колесниченко К.А., Маслов В.Т.* Елементи гидропривод. Справочник. — К.: Техника, 1987. — 320 с.
2. *Кондаков Л.А.* Уплотнения гидравлических систем. — М.: Машиностроение, 1982. — 240 с.
3. *Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование принципа работы транспортных устройств на водяной подушке и разработки рекомендаций по их проектированию», № гос. регистрации 100V3109.* Украинский государственный технический университет имени адмирала Макарова, Николаев, 2000. — С. 25.
4. *Голубев А.И.* Торцовые уплотнения. Исследования гидромаш. — В сб.: Труды ВИГМ, М, 1959, в. XXIV. — С. 31 — 38.

Отримана 12.04.09

V. Aleksienko

### Ecologically a clean transport system

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv*

*An economic device on an aquatic pillow, which is applied for moving and editing of heavy constructions and equipment in different industries of engineer, is offered highly, in a that number in shipbuilding. Together with a high carrying capacity, a device differs simplicity of construction, compactness and minimum running expenses. Yes, at moving of load by mass in 100 t in the distance 100 m and to getting up of him on a height 0,1 m specific pressure of device and specific expense of water on one makes tone according to 4 kg s t and 0,001 m³ /t, and force of resistance at moving of load does not exceed 5000-7000 N. Such operating indexes are arrived at due to the increase of specific pressure in an aquatic pillow to 196 kPa and diminishing of coefficient of sliding friction to 0,005. Sled equiped by the apparatus of control and management, which allows one man to execute all technological operations during transporting of different wares.*