

ПІДВИЩЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРОСТРУМЕНЕВИХ УСТАНОВОК ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОМУЛЬТИПЛІКАТОРІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

Наведений метод підвищення якісних характеристик гідроструменевих установок за рахунок оптимізації параметрів гідромультиплікаторів високого тиску, що може бути використаний при розробці гідросистем високого тиску, а також при проектуванні гідромультиплікаторів із застосуванням різних робочих рідин в трактах високого і низького тисків.

Ключові слова: гідромультиплікатор, гідрорізальна установка, струмінь, сопло, сопловий насадок, плунжер.

I. V. PETKO, V. M. PAVLENKO

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

IMPROVEMENT OF QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF HYDRO-JET INSTALLATIONS BY OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF HYDRO-MULTIPLIER OF HIGH PRESSURE

This article has shown that the reliable operation hydro-multiplier mainly depends on the performance plunger pair, the best of its parameters: the plunger, sleeve length, and the gap between them.

It is proved that a more accurate calculation of the working fluid leakage through gaps plunger and bushings need to consider what to plunger applied axial compressing force under which it is deformed causing primary gap in plunger pair decreases.

A method for improving the quality characteristics hydro plants by optimizing the parameters of high-pressure hydraulic multipliers, which can be used to develop a high-pressure hydraulic systems, as well as the design hydro-multiplier with different working fluids in the path of high and low pressure.

Keywords: hydro-multiplier, hydro cutting systems, jet, nozzle, nozzle tips, plunger.

Вступ

Гідроструменева обробка – це технологічна операція керованої дії на оброблювану поверхню сформованим швидкоплинним струменем рідини, здатним виконувати пружно-пластичне та в'язко-пластичне деформування мікрообсягів тіла заготовки з можливим наступним їх відокремленням від основного матеріалу. При цьому струмінь рідини являє собою універсальний інструмент, який поєднує в собі властивості ідеалізованих інструментів обробки матеріалів тиском та механічної лезової обробки.

Постановка задачі

Одним з головних пристроїв будь-якого гідроструменевого обладнання є джерело високого тиску, що дозволяє отримувати швидкоплинний струмінь рідини, витікаючий з соплового насадку робочого органа та виконуючий задану обробку поверхні. Від надійності та безвідмовності роботи цього пристрою залежить не тільки ефективність експлуатації обладнання, але й безпека його обслуговування. Разом з іншими вузлами та механізмами, джерело високого тиску впливає на якість обробки, її продуктивність та вартість.

Аналіз досліджень та публікацій

Для створення безперервного швидкоплинного струменя робочої рідини (600–900 м/с) необхідно, щоб тиск робочої рідини на вході в сопло був в межах 100–600 МПа. Забезпечення керованого високого тиску досягається за рахунок мультиплікатора безперервної дії – найбільш простого способу підвищення тиску робочої рідини.

Гідросистеми високого тиску, що побудовані за звичайною схемою об'ємного гідроприводу, складаються з насосу високого тиску (100.....600 МПа), регулюючої, розподільної та допоміжної апаратури. Замість вказаного насосу можливе використання звичайного насосу на тиск до 32 МПа та мультиплікатора. Така схема має ще одну істотну перевагу: у разі використання в якості робочої рідини технічної води або водних емульсій, корозійно стійкими мають бути тільки елементи мультиплікатора та апаратури високого тиску. При цьому, для живлення силового приводу мультиплікатора у контурі низького тиску використовуються звичайні мінеральні мастила та промислова гідравлічна апаратура. А це істотно знижує вартість обладнання, спрощує його обслуговування та полегшує виготовлення окремих частин мультиплікатора, що зношуються у процесі експлуатації. Про доцільність побудови систем високого тиску на базі мультиплікаторів свідчать також автори робіт [1, 2].

Виділення невирішених частин

Проте при високих тисках (вищих за 50 МПа) на роботу гідравлічних мультиплікаторів суттєво впливають стиснення рідини, зміна в'язкості, об'єм шкідливого простору, деформації робочих камер. Тому метод розрахунку гідромультиплікаторів для тисків близько 100–400 МПа є нагальною задачею при проектуванні гідрорізального устаткування.

Виклад основного матеріалу дослідження

Установка для гідрорізання (рис. 1) є джерелом високого тиску, з'єднане через гідроаккумулятор з робочим насадком, що містить сопло. Матеріал переміщається на столі. Відпрацьована робоча рідина

(технічна вода) фільтрується і насосом подається на вхід мультиплікатора. Швидкоплинний струмінь формується в робочому насадку, що має фільтр тонкого очищення робочої рідини і сопло.

Робочий насадок 1 живиться від акумулятора 18, який забезпечує безперервність витікання струменя і згладжує пульсації тиску, що виникають при реверсі мультиплікатора 16, тобто у момент знаходження плунжерів в мертвих точках. Акумулятор 18 конструктивно являє собою балон високого тиску, забезпечений запобіжним клапаном 19 і манометром 17. Енергія високого тиску акумулюється в ньому за рахунок пружних деформацій стінок та стиснення рідини.

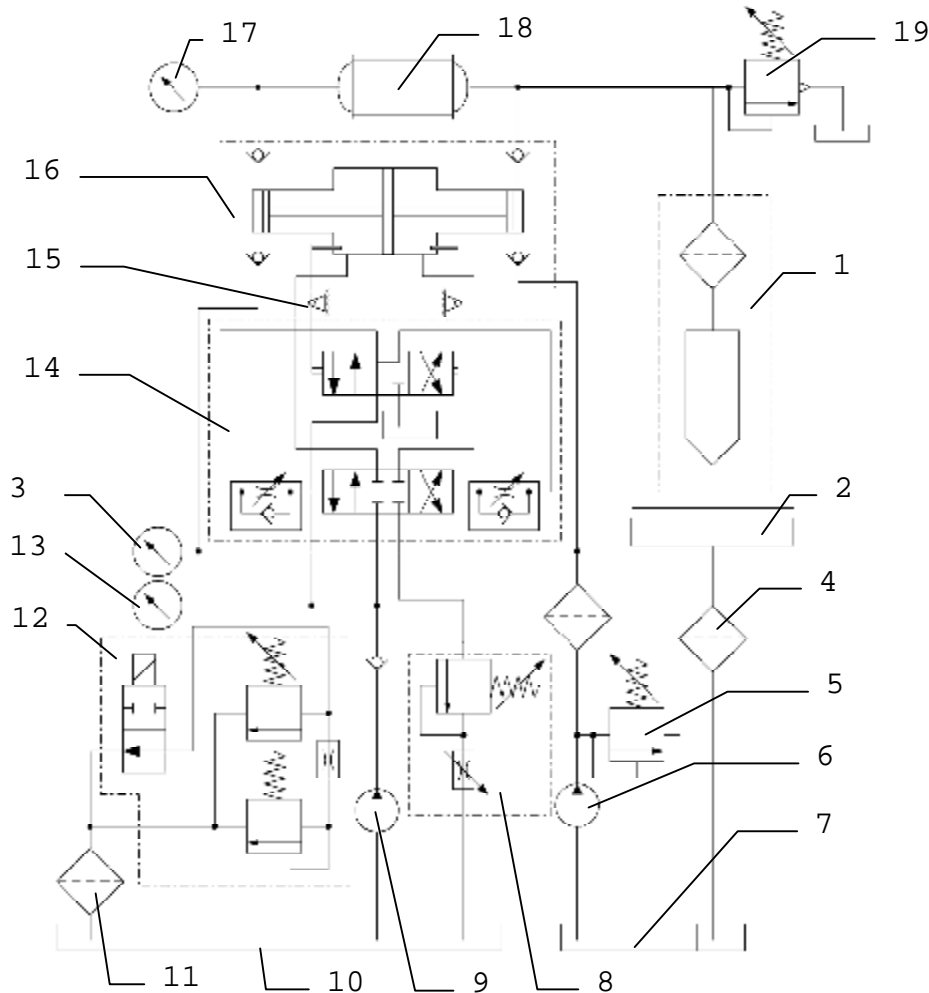


Рис. 1. Гідравлічна схема пристрою для гідрорізання

Заповнення акумулятора рідиною під високим тиском здійснюється подвійним співвісним гідромultiплікатором 16, що приводиться в дію допоміжною помпою. З поршнем гідромultiплікатора жорстко пов'язано два співвісні плунжери, площа перерізу кожного з яких і коефіцієнт мультиплікації менше площі поршня. Позаплунжерні порожнини за допомогою системи клапанів з'єднані однією стороною з витратним баком робочої рідини 7 (клапани всмоктування), а іншою – з гідроакумулятором 18 (нагнітаючі клапани).

Допоміжний насос містить бак для мастила 10, насос 9, гідророзподільник 14, фільтр 11, запобіжно розвантажуючий клапан 12, манометр 13 та регулятор потоку 8.

Рідинна система складається із ємності з відпрацьованою водою і стружкою 2, що виконує також роль поглинача енергії струменя, бака 7, запобіжного клапана 5, насоса 6, фільтра 4 і манометра 3.

Установка працює таким чином. Від насоса 9 масло під тиском, який задається клапаном 12, подається до гідророзподільника 14. Розташування золотника розподільника задає положення поршня. Це забезпечується штовхачами 15, які діють на поршень, коли той знаходиться в крайніх положеннях.

Золотник розподільника забезпечує таке з'єднання позাপоршневих порожнин, при якому мастило під тиском подається тільки в одну порожнину, а протилежна, при цьому, з'єднується із зливом в бак. Насос рідинної системи забезпечує постійне підведення води під невеликим тиском до клапанів всмоктування плунжерних порожнин гідромultiплікатора. Коли поршень з плунжером рухається в напрямку із заплунжерної порожнини (за схемою справа наліво для правої плунжерної пари) вода заповнює її. При цьому нагнітальний клапан закритий високим тиском від акумулятора.

Плунжери мультиплікатора з'єднані зі штоком за допомогою самоцентруючих пристроїв, що дозволяють компенсувати геометричні похибки та похибки взаємного розташування поверхонь, що

стикаються. З'єднання плунжера з гільзами виконується за прецизійними або напівпрецизійними посадками в залежності від робочого тиску мультиплікатора.

Коли поршень з плунжером рухається в зворотному напрямку, то створюваний плунжером тиск закриває клапан всмоктування і тоді, коли цей тиск стане більше тиску робочої рідини, наявної в акумуляторі (за рахунок витрати через сопло і різних витоків), відкривається нагнітальний клапан і вода заповнює акумулятор.

При зменшенні витрат води через сопло частота реверсування зменшується і стає зовсім малою при закритому вентилі соплового насадку. При збільшенні діаметру сопла і тиску, що підвищує витрати робочої рідини, ця частота зростає до максимального значення.

Надійна робота гідромultiплікатора в основному залежить від працездатності плунжерної пари, тобто від оптимальних її параметрів: ходу плунжера, довжини втулки і зазору між ними.

На рис. 2 показана розрахункова схема гідромultiплікатора та його основні геометричні параметри.

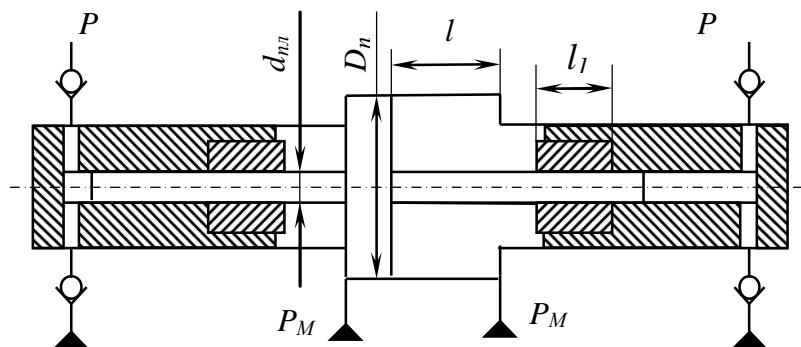


Рис. 2. Розрахункова схема мультиплікатора

Для спрощення розрахункових залежностей, а також з метою використання цих залежностей для проектування ряду подібних гідромultiплікаторів введемо безрозмірні коефіцієнти відповідно плунжера, втулки і зазору між ними [3]:

$$K_{\Pi} = \frac{l}{d_{nl}} \quad (1);$$

$$K_B = \frac{l_1}{d_{nl}} \quad (2);$$

$$K_s = \frac{s}{d_{nl}} \quad (3).$$

де l , d_{nl} – відповідно хід і діаметр плунжера, l_1 – довжина втулки, s – радіальний зазор між плунжером та втулкою.

У таблиці 1 на підставі експериментальних даних для плунжерів діаметрів 12 ÷ 40 мм вказані числові значення коефіцієнтів плунжера K_{Π} та втулки K_B . Коефіцієнт зазору рекомендується за [3] $K_s = (3...5) \cdot 10^{-4}$.

Таблиця 1

Чисельні значення коефіцієнтів плунжера K_{Π} і втулки K_B в залежності від тиску робочої рідини

p , МПа	K_{Π}	K_B	p , МПа	K_{Π}	K_B
50	2,5	2,75	300	5,25	5,78
100	3,4	3,74	400	5,75	6,325
200	4,5	4,95	500	6,25	6,875

Для розрахунку діаметру плунжера гідромultiплікатора задається тиск на вході в сопло p , витрата робочої рідини через сопло q , та частота реверсування ν .

Витрату робочої рідини через сопло q визначимо за спрощеною формулою:

$$q = V \frac{p d_c^2}{4}, \quad (4)$$

де

$$V = j \sqrt{2p/r} \quad (5)$$

середня швидкість витікання робочої рідини із сопла; d_c – діаметр вихідного отвору сопла; j – безрозмірний коефіцієнт швидкості, що дорівнює приблизно 0,95; r – густина робочої рідини.

Підставивши вираз (4) у формулу (5), отримаємо $q = \left(\frac{j p d_c^2}{4} \right) \sqrt{2p/r}$

Об'єм заплунжерної камери гідромультиплікатора для забезпечення необхідної витрати через сопло з урахуванням стиснення робочої рідини, впливу шкідливого простору і деформацій заплунжерних камер визначається за формулою $V_{з.к.} = q/n = V_T - \Delta V_{см} - \Delta V_{cm} - \Delta V_{ун}$.

$$V_T = \left(\frac{p d_{nl}^2}{4} \right) l \quad (6)$$

де V_T – теоретичний об'єм рідини, що нагнітається за один хід плунжера; $\Delta V_{см}$ – об'єм витоків через зазор між плунжером і втулкою за один хід гідромультиплікатора; ΔV_{cm} – зменшення об'єму рідини за рахунок стиснення за один хід; $\Delta V_{ун}$ – збільшення об'єму шкідливого простору за рахунок деформацій заплунжерних камер.

У розроблених гідромультиплікаторах ущільнення плунжера забезпечується прецизійним підбором його з втулкою. Оскільки в реальних агрегатах плунжер може займати відносно втулки ексцентричне положення, то витоків через ущільнення розраховуються за відомою формулою [4]:

$$\Delta V_{см} = 2.5 p d_{nl} p s^3 t / 12 m l_1, \text{ де } t = 1/n - \text{час одного ходу; } m - \text{динамічна в'язкість робочої рідини.}$$

Кінцева формула для визначення витоків робочої рідини має вигляд:

$$\Delta V_{см} = \frac{2.5 p d_{nl} p s^3}{12 m_p n l_1} \quad (7)$$

де $m_p = m_0 K^{p-1}$ – динамічна густина рідини при тиску p [1]; m_0 – теж саме, при атмосферному тиску; K – коефіцієнт, який для води дорівнює приблизно 0,0002 [5].

Для більш точних розрахунків, витік робочої рідини через зазор плунжера і втулки необхідно визначити, враховуючи те, що до плунжера прикладена осьова стискаюча сила $N = \frac{p p d_{nl}^2}{4}$, в результаті якої він деформується і первинний зазор в плунжерній парі зменшується. Ця деформація визначається за формулою $\Delta d_{nl} = \frac{m' p d_{nl}}{E'}$, де m' , E' – коефіцієнт Пуассона та модуль пружності матеріалу плунжера відповідно.

Однак при розрахунках витоків ці деформації для плунжера, виготовленого зі сталі 4X4ВМФС і термообробленого до твердості HRC 60...62, можна не враховувати, тому що ця величина є невеликою (0,5...0,75 мкм), а гарантований зазор складає 3-5 мкм. Зменшення об'єму робочої рідини за рахунок стиснення з урахуванням шкідливого простору:

$$\Delta V_{cm} = \frac{p(V_T + V_{ун})}{E}, \quad (8)$$

де $V_{ун}$ – об'єм шкідливого простору, E – модуль пружності робочої рідини.

Збільшення об'єму шкідливого простору заплунжерної камери:

$$\Delta V_{ун} = \frac{p V_{ун}}{E''}, \quad (9)$$

де E'' – модуль пружності матеріалу камери.

Використовуючи рівняння (1)–(3), отримуємо вираз для визначення розрахункового об'єму заплунжерної камери $V_{з.к.}$:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{зк}} &= \frac{j p d_c^2}{4n} \sqrt{\frac{2p}{r}} = \frac{p d_{\text{нл}}^2 l}{4} - \frac{2.5 p d_{\text{нл}} p s^3}{12 m_p n l_1} - \left(\frac{p d_{\text{нл}}^2 l}{4} + \frac{p V_{\text{еп}}}{E} \right) - \frac{p V_{\text{еп}}}{E''} = \\
 &= \frac{p d_{\text{нл}}^2}{4} K_{\text{II}} d_{\text{нл}} - \frac{2.5 p d_{\text{нл}}^2 p K_s^3}{12 m_p n l_1} - \frac{p d_{\text{нл}}^2}{4} K_{\text{II}} d_{\text{нл}} - p V_{\text{еп}} \left(\frac{1}{E} + \frac{1}{E''} \right) = \\
 &= \frac{p}{4} d_{\text{нл}}^3 \left(K_{\text{II}} - \frac{0.83 p K_s^3}{m_p n K_B} - \frac{p K_{\text{II}}}{E} \right) - p V_{\text{еп}} \left(\frac{1}{E} + \frac{1}{E''} \right).
 \end{aligned}$$

Звідки діаметр плунжера:

$$d_{\text{нл}} = \sqrt[3]{\frac{\frac{j p d_c^2}{4n} \sqrt{\frac{2p}{r}} + p V_{\text{еп}} \left(\frac{1}{E} + \frac{1}{E''} \right)}{\frac{p}{4} \left(K_{\text{II}} - \frac{0.83 p K_s^3}{m_p n K_B} - \frac{p K_{\text{II}}}{E} \right)}}.$$

Висновки

Таким чином, наведений метод дозволяє розраховувати гідромультіплікатори для гідрорізальних установок з необхідними вихідними параметрами. Даний метод перевірений під час проведення експериментальних робіт, пов'язаних з конструюванням і виготовленням ряду гідрорізальних установок і може бути використаний при розробленні гідросистем високого тиску, а також при проектуванні гідромультіплікаторів із застосуванням різних робочих рідин в трактах високого і низького тисків.

Література

1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика / Штеренлихт Д.В. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.
2. Прозоров И.В. Гидравлика, водоснабжение, канализация / Прозоров И.В., Николадзе Г.И., Минаев А.В. – М. : Высшая школа, 1990. – 448 с.
3. Гидравлика, гидромашини и гидроприводы : учебник для машиностроительных вузов / [Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др.]. – 2-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1982. – 423 с.
4. Экснер Х. Основы и компоненты. Гидропривод / Экснер Х., Фрейтаг Р., Ланг Р. – М. : Сервис автоматизация, 2003, – 323 с.
5. Немировский И.А. Расчет гидроприводов технологических машин / И.А. Немировский, Н.Г. Снисарь. – К. : Техника, 1992. – 181 с.

References

1. Shterenliht D. V. Gidravlika. M.: Jenergoatomizdat, 1991. 352 s.
2. Prozorov I. V., Nikoladze G. I., Minaev A. V. Gidravlika, vodosnabzhenie, kanalizacija. M.: Vysshaja shkola, 1990. 448 s.
3. Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody: Uchebnik dlja mashinostroitel'nyh vuzov/ T.M.Bashta, S.S.Rudnev, B.B.Nekrasov i dr. - 2-e izd., pererab. - M.: Mashinostroenie, 1982. - 423 s.
4. Jeksner H., Frejtag R., Lang R., Gidroprivod. Osnovy i komponenty. Izdatel'stvo: Servis avtomatizacija, 2003, – 323 s.
5. Nemirovskij I.A., Snisar N.G. Raschet gidroprivodov tehnologicheskij mashin K.: Tehnika, 1992. —181 s.

Рецензія/Peer review : 18.3.2013 р.

Надрукована/Printed :21.4.2013 р.