

УДК 621.22

Ж. П. Дусанюк¹, О. В. Дерібо¹, С. В. Репінський¹, А. О. Жарський¹

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РУКАВА ВИСОКОГО ТИСКУ НА ЙОГО СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

¹Вінницький національний технічний університет

Досліджено вплив конструктивних параметрів рукава високого тиску, а саме: товщини гумових шарів, товщини металевих обплетень, внутрішнього діаметра на його статичні характеристики – передатні відношення, жорсткість, статичний коефіцієнт податливості.

ВСТУП

Рукави високого тиску (РВТ) широко застосовуються в гідроприводах технологічних машин різного призначення для підведення потоку робочої рідини до рухомих виконавчих органів. Використання РВТ як комутаційних магістралей вимагає вивчення їх конструкції та параметрів.

Вивченням характеристик РВТ займався багато авторів [1–3]. Роботи виконувалися в напрямках як експериментальних, так й імітаційні дослідження [4–7].

Експериментальні дослідження вимагають затрат значних коштів, тому останнім часом все більша увага приділяється імітаційним дослідженням, що стало можливим завдяки розвитку ПЕОМ.

Метою роботи є виявлення впливу конструктивних параметрів РВТ і тиску в порожнині на їх статичні характеристики: передатні відношення між шарами, жорсткість, статичний коефіцієнт податливості.

Розглянуто РВТ, які складаються з металевих обплетень та гумових шарів. Кожне з обплетень навито зі сталевого дроту в два шари під кутом один до одного. Гумові шари є суцільними трубками. РВТ такої конструкції виготовляються ГК «Вінницький агрегатний завод».

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Досліджувались РВТ конструкція гнучкого шланга яких складається з два сталевих обплетень і трьох гумових шарів. Такий РВТ є досить складною конструкцією, оскільки на її пружні характеристики в комплексі впливають як гумові шари, так і металеві обплетення.

На рис. 1 показана схема поперечного перерізу РВТ. Тиск робочої рідини p в порожнині A діє на внутрішню поверхню гумового шару 1, який пружно деформується. Він тисне на металеве обплетення 2, яке деформується і діє на гумовий шар 3. Далі деформація передається на металеве обплетення 4, яке відповідно передає деформацію на гумовий шар 5.

Реологічна модель РВТ (рис. 2) складається з декількох паралельно з'єднаних елементів – пружного та в'язкого (модель Фойгта) [4–7]. Оскільки всі елементи РВТ згідно з рис. 1 у випадку навантаження його порожнини тиском деформуються в радіальному напрямку, тобто симетрично, то на рис. 2 показана схема для з одного напрямків. Розглядається конструкція РВТ, у якого товщина гумових шарів значно більша за товщину металевих обплетень.

На рисунках 1 і 2 використані такі позначення конструктивних параметрів РВТ і змінних величин: $d_{зовнГ_i}$, $d_{внГ_i}$ – зовнішній і внутрішній діаметри i -го гумового шару; $\delta_{Г_i}$ – товщина i -го гумового шару; $\delta_{М_i}$ – товщина i -го металевих обплетень; $d_{срГ_i}$ – середній діаметр i -го гумового шару; $d_{срМ_i}$ – середній діаметр i -го металевих обплетень; $\Delta d_{зовнГ_i}$, $\Delta d_{внГ_i}$ – деформації в радіальному напрямі зовнішньої та внутрішньої поверхонь гумового шару; p – тиск в порожнині РВТ; $C_{Г_i}$ – жорсткість i -го гумового шару; $C_{М_i}$ – жорсткість i -го металевих обплетень; β_i – коефіцієнт внутрішнього демпфування i -го гумового шару; i_1 , i_2 , i_3 – передатні відношення першого, другого і третього гумових шарів.

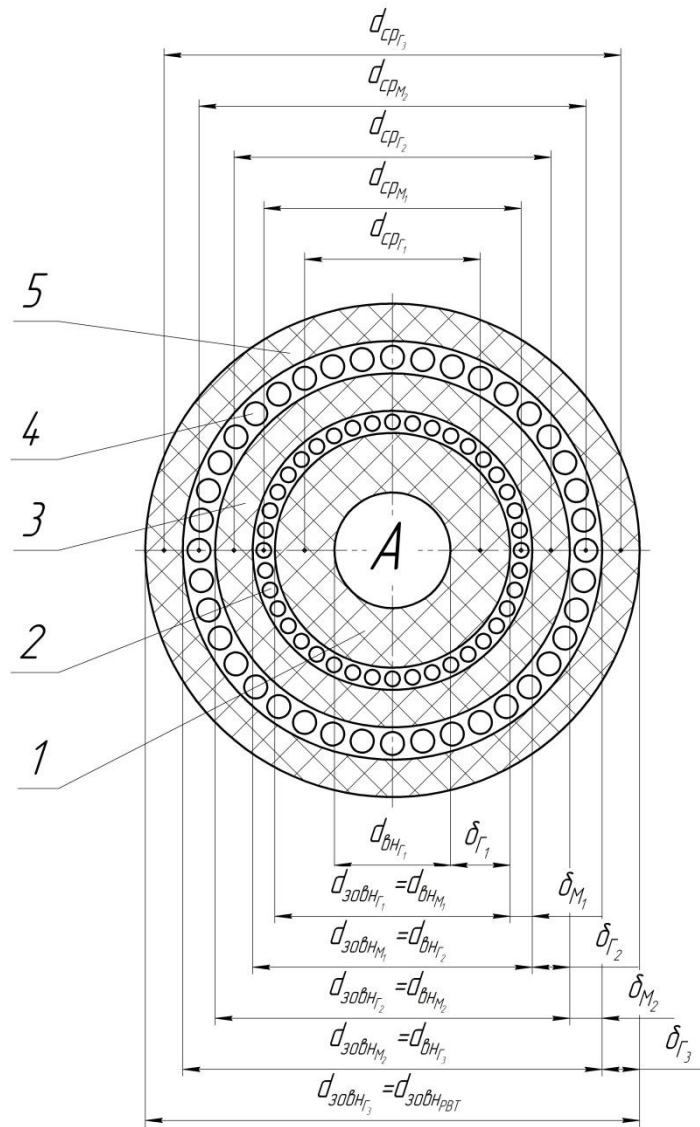


Рисунок 1 – Схема поперечного перерізу РВТ з двома металевими обплетеннями:
1, 3, 5 – гумові шари; 2, 4 – металеві обплетення

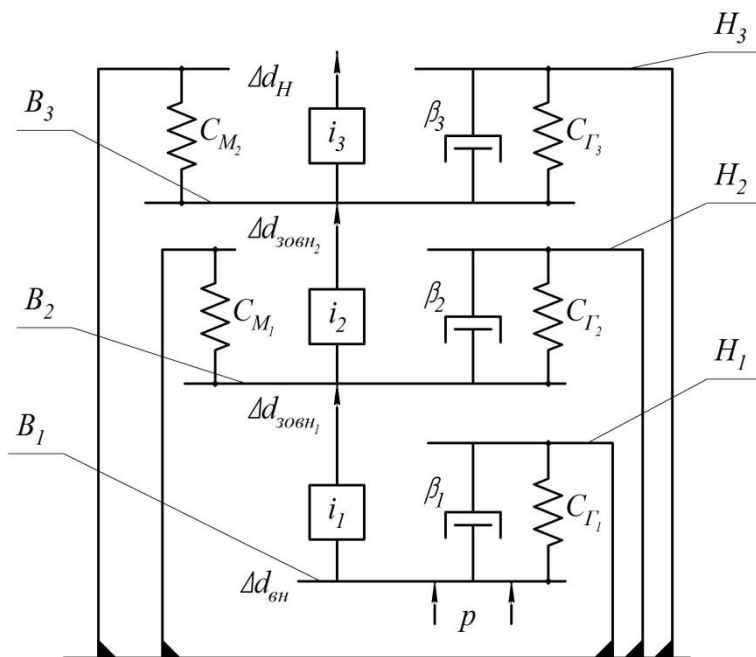


Рисунок 2 – Реологічна модель РВТ

Тиск рідини p діє на внутрішню поверхню першого гумового шару, опір деформації якого визначається величиною жорсткості $C_{Г1}$ та коефіцієнтом внутрішнього демпфування β_1 (H_1 – умовно фіксована поверхня). Деформація від внутрішньої поверхні гумового шару передається його зовнішній поверхні з передатним відношенням i_1 . Зовнішня поверхня першого гумового шару контактує з внутрішньою поверхнею першого металевих обплетень з жорсткістю C_{M1} . Припускалося, що деформація цієї поверхні дорівнює деформації зовнішньої поверхні першого гумового шару. Через незначну товщину металевих обплетень, зміна їх внутрішнього та зовнішнього діаметрів можемо вважати однаковою і, відповідно, передатне відношення обох металевих обплетень беремо рівним 1. Таким чином, деформація зовнішньої поверхні першого гумового шару передається на внутрішню поверхню другого гумового шару з передатним відношенням i_1 .

Деформація внутрішньої поверхні другого гумового шару передається зовнішній поверхні з передатним відношенням i_2 . Внутрішня поверхня другого металевих обплетень жорсткістю C_{M2} , що контактує із зовнішньою поверхнею гумового шару 3, деформується на величину, рівну деформації зовнішньої поверхні гумового шару 2. Аналогічно наведеним вище поясненням прийнято, що деформація зовнішньої поверхні другого гумового шару 2 передається внутрішній поверхні третього гумового шару з передатним відношенням i_3 .

Опір шару третього гумового шару визначається величинами жорсткості $C_{Г3}$ та коефіцієнтом внутрішнього демпфування β_3 .

Очевидно, що внутрішнє демпфування впливає на опір гумових шарів лише в швидкоплинних динамічних процесах. Оскільки в цій роботі визначались статичні характеристики РВТ, то приймалося, що $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$.

Передатні відношення гумових шарів визначалися за співвідношенням [7, 8]

$$i_{Гi} = \frac{\Delta d_{зovнГi}}{\Delta d_{внГi}} = \frac{1 - \mu_{Г} \frac{\delta_{Гi}}{d_{cpГi}}}{1 + \mu_{Г} \frac{\delta_{Гi}}{d_{cpГi}}}, \quad (1)$$

де $\mu_{Г} = 0,5$ – коефіцієнт Пуассона для гуми.

Відповідно до реологічної моделі РВТ, в роботах [5, 7, 8] отримані формули, які дозволяють визначити передатні відношення гумових шарів ($i_{Г1}$, $i_{Г2}$, $i_{Г3}$), жорсткість гумових шарів ($C_{Г1}$, $C_{Г2}$, $C_{Г3}$) і металевих обплетень (C_{M1} , C_{M2}) та статичний коефіцієнт податливості $K(p)$. В роботі розв'язувалась задача виявлення залежності від конструктивних параметрів РВТ передатних відношень гумових шарів, жорсткості гумових шарів, жорсткості металевих обплетень та статичного коефіцієнта податливості.

Досліджувались РВТ з номінальними розмірами діаметра порожнини 10, 16 і 20 мм.

Деякі проміжні результати досліджень доповідалися на XLVII науково-технічній конференції підрозділів ВНТУ і викладені в [9].

Жорсткість гумових шарів згідно з [5] визначається за формулою

$$C_{Гi} = \frac{4\pi\ell_{Гi} E_{Г} \delta_{Гi}}{d_{cpГi} \left(1 - \frac{\mu_{Г}}{2}\right)} \text{ [Н/м]}, \quad (2)$$

де $\ell_{Гi}$ – довжина гумового шару, м; $E_{Г}$ – модуль пружності гуми ($E_{Г} = 2,5 \cdot 10^6$ Н/м²); $\delta_{Гi}$ – товщини гумового шару.

Жорсткість металевих обплетень [5]

$$C_{Mi} = \alpha \frac{4\pi\ell_{Mi} E_M \delta_{Mi}}{d_{cpMi} \left(1 - \frac{\mu_M}{2}\right)} \text{ [Н/м]}, \quad (3)$$

де α – кореляційний коефіцієнт, який враховує різницю між жорсткістю металевго обплетення і суцільної тонкостінної металевої оболонки; ℓ_{M_i} – довжина металевго обплетення, м; $E_M = 2,1 \cdot 10^{11}$ Н/м² – модуль пружності сталі; δ_{M_i} – товщина металевго обплетення, м; d_{cpM_i} – середній діаметр дроту металевго обплетення, м; $\mu_r = 0,25$ – коефіцієнт Пуассона для сталі.

Під час розрахунків кількісні значення коефіцієнта α вибирались згідно з результатами експериментальних досліджень РВТ, описаних в роботі [5]. Так, наприклад, для РВТ з $d_{внГ_1} = 10$ мм і тиску в порожнині 10 МПа величина коефіцієнта α складає 0,025.

Статичний коефіцієнт податливості визначався за співвідношенням [5]

$$K(p) = \frac{\Delta W}{W_0 \Delta p} = \frac{4\pi\ell}{C_{Г_1} + i_{Г_1}(C_{M_1} + C_{Г_2}) + i_{Г_1}i_{Г_2}(C_{M_2} + C_{Г_3})} \text{ [м}^2\text{/Н]}, \quad (4)$$

де W_0 – об’єм порожнини за відсутності тиску; Δp – зміна тиску; ΔW – зміна об’єму порожнини через зміну тиску; $\ell = \pi \cdot d_{внГ_1}$.

Параметри $\delta_{Г_i}$ та δ_{M_i} , використовувані під час досліджень, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри РВТ

Діаметр порожнини, мм	Товщини гумових шарів, мм			Товщини металевих обплетень, мм	
	$\delta_{Г_1}$	$\delta_{Г_2}$	$\delta_{Г_3}$	δ_{M_1}	δ_{M_2}
$d_{внГ_1}$					
10	2,2	1,0	2,0	0,42	0,4
16	2,4	1,25	2,1	0,42	0,4
20	2,6	1,5	2,5	0,42	0,4

В результаті одержані передатні відношення гумових шарів (рис. 3). На рис. 4 показано залежність жорсткості гумових шарів від їх товщини та внутрішнього діаметра РВТ.

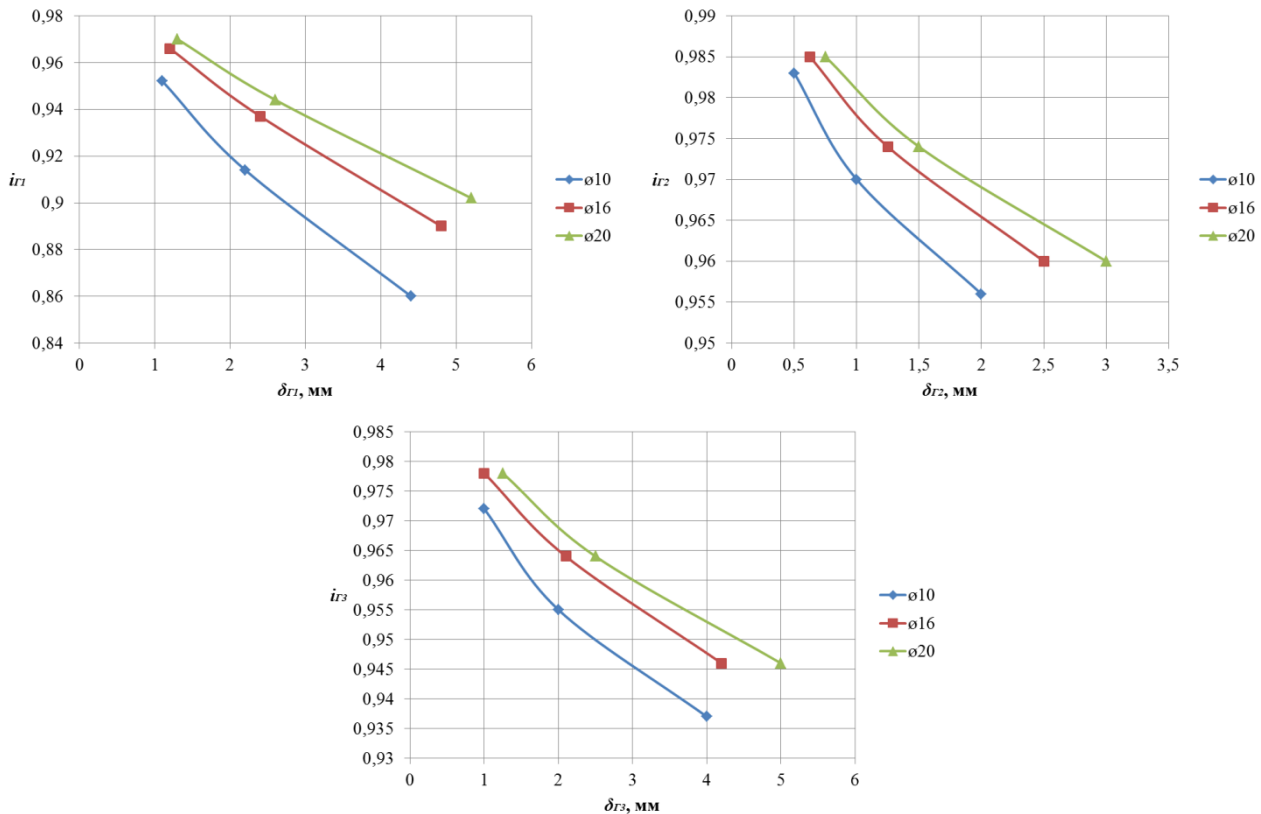


Рисунок 3 – Передатні відношення гумових шарів

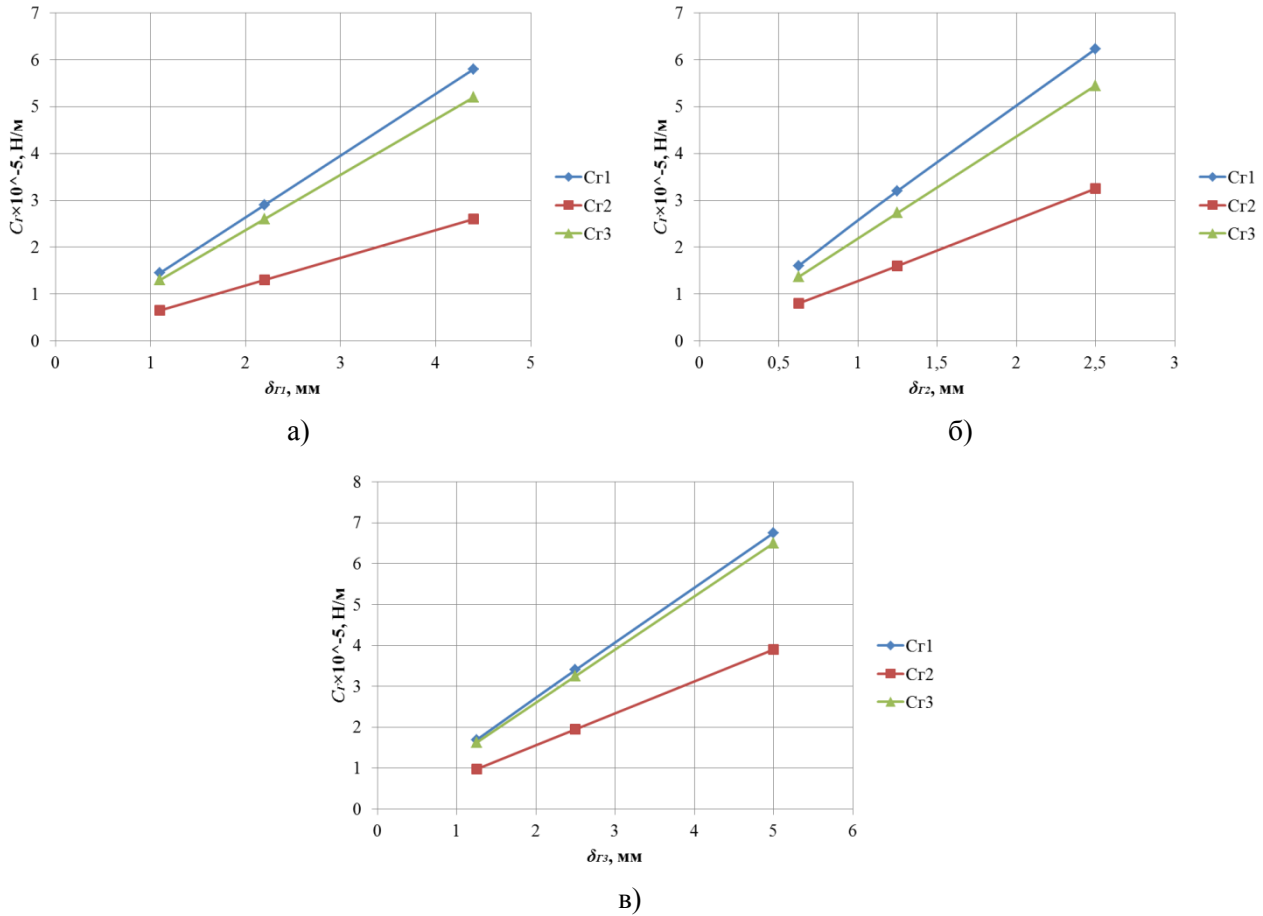


Рисунок 4 – Залежності жорсткості гумових шарів від їх товщини для діаметрів порожнини РВТ: а) – 10 мм; б) – 16 мм; в) – 20 мм

Залежність жорсткості металевих обплетень від їх товщини, внутрішнього діаметра РВТ та тиску, що діє в порожнині рукава, показано на рис. 5–7.

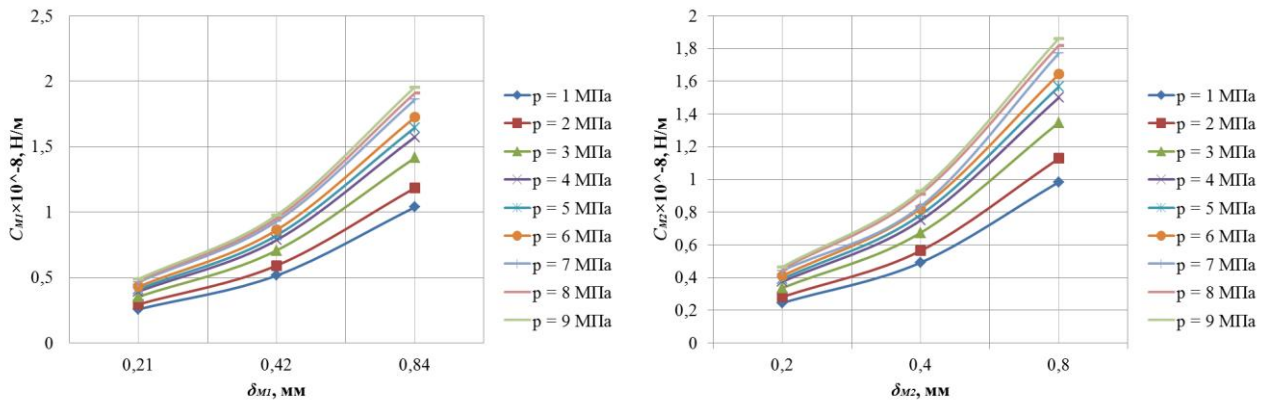


Рисунок 5 – Жорсткість металевих обплетень в залежності від товщини для РВТ з діаметром порожнини 10 мм

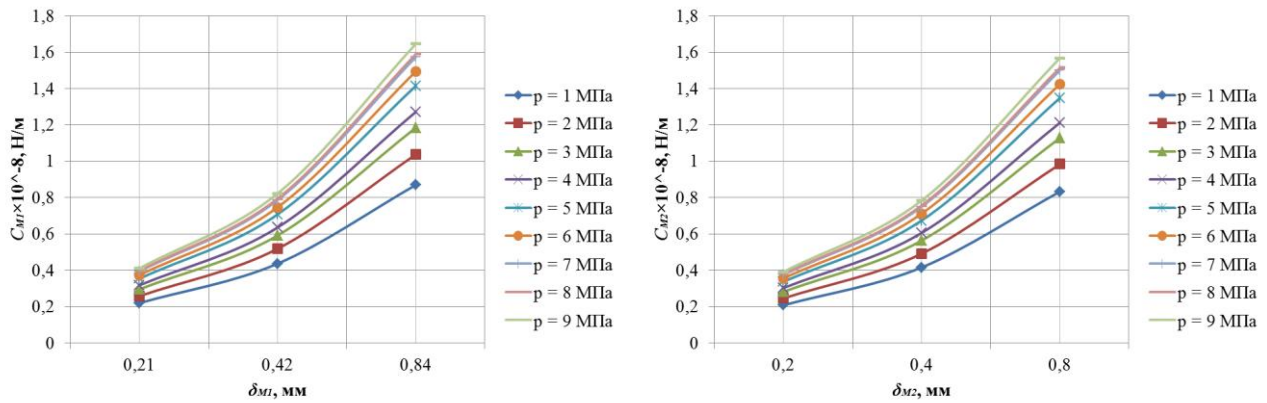


Рисунок 6 – Залежність жорсткості металевих обплетень від їх товщини для РВТ з діаметром порожнини 16 мм

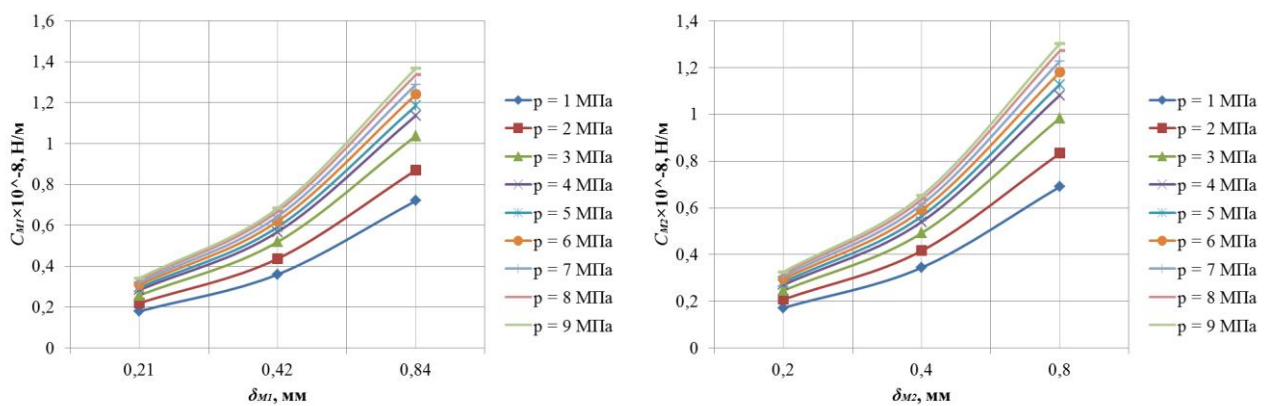


Рисунок 7 – Залежність жорсткості металевих обплетень від їх товщини для РВТ з діаметром порожнини 20 мм

Графіки залежностей статичного коефіцієнта податливості від конструктивних параметрів РВТ показані на рис. 8. Ці залежності визначались для таких варіантів параметрів:

I – $\delta_{r1} = 1,1$ мм; $\delta_{r2} = 0,5$ мм; $\delta_{r3} = 1$ мм; $\delta_{M1} = 0,21$ мм; $\delta_{M2} = 0,2$ мм.

II – $\delta_{r1} = 2,2$ мм; $\delta_{r2} = 1$ мм; $\delta_{r3} = 2$ мм; $\delta_{M1} = 0,42$ мм; $\delta_{M2} = 0,4$ мм.

III – $\delta_{r1} = 4,4$ мм; $\delta_{r2} = 2$ мм; $\delta_{r3} = 4$ мм; $\delta_{M1} = 0,84$ мм; $\delta_{M2} = 0,8$ мм.

З наведених графіків випливає, що величина $K(p)$ залежить від тиску в порожнині РВТ. Ці залежності нелінійні і різні для розглянутих варіантів конструктивних параметрів РВТ, але для усіх розглянутих варіантів конструкції зі збільшенням тиску величина $K(p)$ зменшується приблизно вдвічі. Наприклад, для РВТ з діаметром порожнини 20 мм і сукупністю параметрів за варіантом I (рис. 8, в) значення $K(p)$ змінюється в межах від $120 \cdot 10^{-10}$ до $60 \cdot 10^{-10}$ м²/Н. Ці результати якісно і кількісно узгоджуються з результатами експериментальних досліджень, які описані в роботах [2, 8].

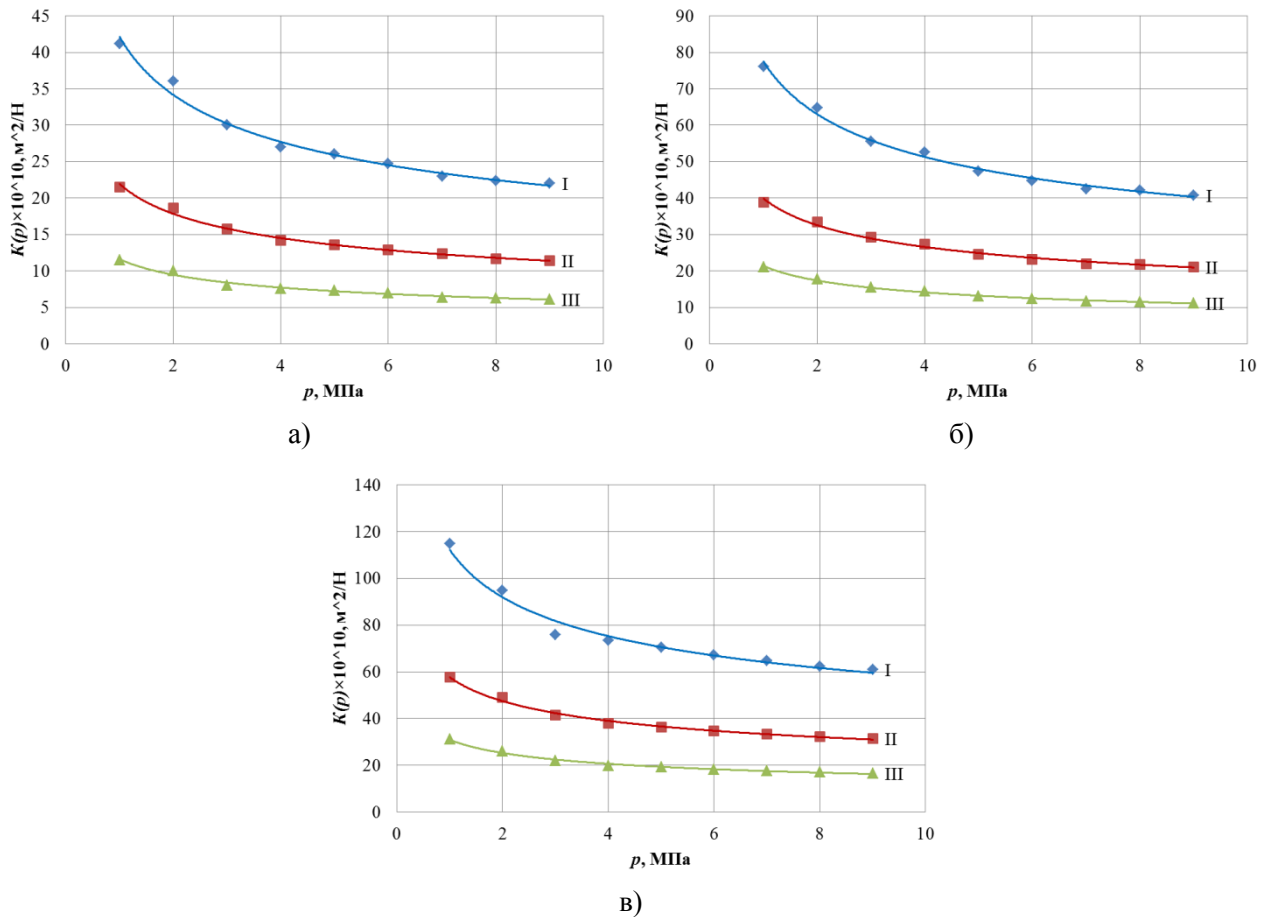


Рисунок 8 – Статичний коефіцієнт податливості РВТ з діаметром порожнини:
а) – 10 мм; б) – 16 мм; в) – 20 мм

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень встановлено що:

- зі збільшенням товщини гумових шарів РВТ їх передатні відношення зменшуються;
- збільшення внутрішнього діаметра РВТ незначною мірою підвищує передатні відношення гумових шарів. Переважно це стосується першого гумового шару. Для другого, третього гумових шарів зі збільшенням діаметра порожнини (до 16 і 20 мм) вони залишаються практично без зміни;
- збільшення товщини гумових шарів РВТ спричиняє підвищення їх жорсткості;
- зі збільшенням діаметра порожнини РВТ жорсткість гумових шарів зростає;
- жорсткість металевих обплетень РВТ підвищується зі збільшенням товщини дроту, зростанням тиску в порожнині рукава і зменшується зі збільшенням діаметра порожнини;
- статичний коефіцієнт податливості РВТ зменшується зі збільшенням товщини гумових шарів та металевих обплетень, при підвищенні тиску в порожнині рукава, збільшується при більших діаметрах порожнини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лепетов В. А. Расчеты и конструирование резиновых технических изделий / В. А. Лепетов, Л. Н. Юрцев. – Ленинград : Химия, 1977. – 408 с.
2. Немировский И. А. Графо-аналитический метод расчета гидроприводов / И. А. Немировский. – М. : Машиностроение, 1968. – 144 с.
3. Сомов Д. О. Модуль об'ємної пружності оболонок високого тиску з металевим обплетенням / Д. О. Сомов // Наукові нотатки : міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»). – 1996. – В. 3. – С. 147–159.
4. Дослідження динамічних характеристик рукавів високого тиску / Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо, В. І. Савуляк, С. В. Дусанюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. – № 1. – С. 83–87.

5. Савуляк В. І. Математичне моделювання та імітаційні дослідження статичних характеристик рукавів високого тиску / В. І. Савуляк, Ж. П. Дусанюк, С. В. Дусанюк // Вибрації в техніці та технологіях. – 1998. – № 1(5). – С. 44–47.

6. Дусанюк Ж. П. Імітаційні дослідження впливу параметрів рукава високого тиску на його жорсткість / Ж. П. Дусанюк, С. В. Дусанюк, О. В. Карватко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 3. – С. 80–84.

7. Дусанюк Ж. П. Волновые процессы в гидросистемах с нелинейными упругими свойствами трубопроводов : дис. ... канд. техн. наук / Жанна Павловна Дусанюк. – Вінниця, 1990. – 255 с.

8. Немировский И. А. Расчет гидроприводов технологических машин / И. А. Немировский, Н. Г. Снисарь. – Киев : Техника, 1992. – 181 с.

9. Дусанюк Ж. П. Вплив конструктивних параметрів рукава високого тиску на статичні характеристики [Електронний ресурс] / Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14–23 березня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – 2018. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2018/paper/view/4959>.

REFERENCES

1. Lepetov V. A. Raschety i konstruirovaniye rezinovykh tekhnicheskikh izdeliy / V. A. Lepetov, L. N. Yurtsev. – Leningrad : Khimiya. 1977. – 408 s.

2. Nemirovskiy I. A. Grafo-analiticheskiy metod rascheta gidroprivodov / I. A. Nemirovskiy. – M. : Mashinostroyeniye. 1968. – 144 s.

3. Somov D. O. Modul obiemnoi pruzhnosti obolonok vysokoho tysku z metalevym obpletenniam / D. O. Somov // Naukovi notatky : mizhvuzivskiy zbirnyk (za napriamom «Inzhenerna mekhanika»). – 1996. – V. 3. – S. 147–159.

4. Doslidzhennia dynamichnykh kharakterystyk rukaviv vysokoho tysku / Zh. P. Dusaniuk, O. V. Deribo, V. I. Savuliak, S. V. Dusaniuk // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 1998. – № 1. – S. 83–87.

5. Savuliak V. I. Matematychnе modeliuvannia ta imitatsiini doslidzhennia statychnykh kharakterystyk rukaviv vysokoho tysku / V. I. Savuliak, Zh. P. Dusaniuk, S. V. Dusaniuk // Vybratsyy v tekhnolohiyakh. – 1998. – № 1(5). – S. 44–47.

6. Dusaniuk Zh. P. Imitatsiini doslidzhennia vplyvu parametriv rukava vysokoho tysku na yoho zhorstkist / Zh. P. Dusaniuk, S. V. Dusaniuk, O. V. Karvatko // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2004. – № 3. – S. 80–84.

7. Dusaniuk Zh. P. Volnovyye protsessy v gidrosistemakh s nelineynymi uprugimi svoystvami truboprovodov : dis. ... kand. tekhn. nauk / Zhanna Pavlovna Dusaniuk. – Vinnitsia. 1990. – 255 s.

8. Nemirovskiy I. A. Raschet gidroprivodov tekhnologicheskikh mashin / I. A. Nemirovskiy, N. G. Snisar. – Kiyev : Tekhnika. 1992. – 181 s.

9. Dusaniuk Zh. P. Vplyv konstruktivnykh parametriv rukava vysokoho tysku na statychni kharakterystyky [Elektronnyi resurs] / Zh. P. Dusaniuk, S. V. Repinskyi // Materialy XLVII naukovotekhnichnoi konferentsii pidrozdiliv VNTU, Vinnytsia, 14-23 bereznia 2018 r. – Elektron. tekst. dani. – 2018. – Rezhym dostupu : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2018/paper/view/4959>.

Ж. П. Дусанюк¹, О. В. Дерібо¹, С. В. Репінський¹, А. О. Жарський¹

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РУКАВА ВИСОКОГО ТИСКУ НА ЙОГО СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

¹Вінницький національний технічний університет

Об'єкт дослідження – рукави високого тиску.

Мета роботи – виявлення впливу конструктивних параметрів рукава високого тиску і тиску в порожнині на його статичні характеристики: передатні відношення між шарами, жорсткість, статичний коефіцієнт податливості.

Проведено дослідження залежності передатних відношень гумових шарів, що входять в конструкцію, від їх товщини для різних типорозмірів рукавів високого тиску. Встановлено вплив товщини гумових шарів на їх жорсткість, а також товщини металевих обплетень та тиску в порожнині на їх жорсткість для різних типорозмірів рукавів високого тиску. Визначено вплив

вказаних вище параметрів (товщини, жорсткості гумових шарів та металевих обплетень), тиску у внутрішній порожнині рукава високого тиску на його статичний коефіцієнт податливості.

Розглянута методика може бути використана під час проектування і дослідження гідроприводів технологічних машин, в склад яких входять рукави високого тиску, з метою забезпечення необхідного за величиною статичного коефіцієнта податливості.

Ключові слова: рукав високого тиску, гумові шари, металеві обплетення, передатне відношення, жорсткість, статичний коефіцієнт податливості.

Дусанюк Жанна Павлівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування; Вінницький національний технічний університет

Дерібо Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: deriboov@ukr.net.

Репінський Сергій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: repinskyisv@gmail.com.

Жарський Артем Олександрович, студент, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет.

Zh. Dusaniuk¹, O. Deribo¹, S. Repinskyi¹, A. Zharskyi¹

INFLUENCE OF STRUCTURAL PARAMETERS OF THE HIGH PRESSURE SLEEVE ITS ON THE STATIC CHARACTERISTICS

¹Vinnytsia National Technical University

The object of investigation is high-pressure hoses.

The aim of the work is to reveal the influence of the design parameters of the RVD and pressure in its cavity on its static characteristics: transfer ratios between layers, rigidity, static compliance coefficient.

The dependence of the transfer ratios of the rubber layers included in the structure on their thickness for different sizes of the HPH is studied. The influence of the thickness of rubber layers on their rigidity, as well as the thickness of metal braids and the pressure in the cavity on their rigidity for different sizes of the HPH is established. The influence of the above parameters (thickness, rigidity of rubber layers and metal braids), pressure in the internal cavity of the HPH on its static compliance coefficient is determined.

The considered technique can be used in the design and research of hydraulic drives of technological machines, which include high-pressure hoses, in order to provide the required static compliance coefficient.

Keywords: high pressure hose, rubber layers, metal braids, gear ratio, rigidity, static compliance factor.

Dusaniuk Zhanna, Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University

Deribo Oleksandr, Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, e-mail: deriboov@ukr.net

Repinskyi Sergii, Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, e-mail: repinskyisv@gmail.com

Zharskyi Artem, Student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University

Ж. П. Дусанюк¹, А. В. Дерибо¹, С. В. Репинский¹, А. А. Жарский¹

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РУКАВА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЕГО СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

¹Винницкий национальный технический университет

Объект исследования – рукава высокого давления.

Цель работы – выявление влияния конструктивных параметров рукава высокого давления и давления в полости на его статические характеристики: передаточные отношения между слоями, жесткость, статический коэффициент податливости.

Проведено исследование зависимости передаточных отношений резиновых слоев, входящих в конструкцию, от их толщины для различных типоразмеров рукавов высокого давления. Установлено влияние толщины резиновых слоев на их жесткость, а также толщины металлических оплеток и давления в полости на их жесткость для различных типоразмеров рукавов высокого давления. Определено влияние указанных выше параметров (толщины, жесткости резиновых слоев и металлических оплеток), давления во внутренней полости рукава высокого давления на его статический коэффициент податливости.

Рассмотренная методика может быть использована при проектировании и исследовании гидроприводов технологических машин, в состав которых входят рукава высокого давления, с целью обеспечения необходимого по величине статического коэффициента податливости.

Ключевые слова: рукав высокого давления, резиновые слои, металлические оплетки, передаточное отношение, жесткость, статический коэффициент податливости.

Дусанюк Жанна Павловна, кандидат технических наук, доцент, Винницкий национальный технический университет, доцент кафедры технологий и автоматизации машиностроения;

Дерибо Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Винницкий национальный технический университет, профессор кафедры технологий и автоматизации машиностроения, e-mail: deriboov@ukr.net.

Репинский Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Винницкий национальный технический университет, доцент кафедры технологий и автоматизации машиностроения, e-mail: repinskyisv@gmail.com.

Жарский Артем Александрович, студент, факультет машиностроения и транспорта, Винницкий национальный технический университет.