

МОДЕРНІЗАЦІЯ СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГНУЧКИХ РУКАВІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

¹Вінницький національний технічний університет

В даній роботі пропонується модернізована конструкція стенда для проведення експериментальних досліджень динамічних характеристик РВТ, а також спеціальну методику їх проведення, яка дозволяє отримати достовірні значення $K_d(p)$ для конкретної конструкції рукава та можливість побудови амплітудно-фазочастотних характеристик.

ВСТУП

В сучасних умовах використання різноманітного технологічного обладнання та машин широко застосовуються гідравлічні приводи, яким не має альтернативи за питомою потужністю та діапазоном регулювання. Практично в кожному з них, крім металевих трубопроводів, використовуються і гнучкі, особливо на рухомих виконавчих органах. В зв'язку з цим динамічні характеристики гнучких трубопроводів безпосередньо впливають на динаміку гідроприводу в цілому. На даний час не існує єдиної аналітичної та ефективної методики визначення динамічних характеристик гнучких трубопроводів високого тиску (РВТ), в першу чергу через складність їх будови, яка представляє собою композитну структуру із низки гумових, тканих та металевих шарів. До того ж на процес деформації РВТ суттєво впливає вид і форма металевого обплетення.

Наприклад якщо обплетення виконано у вигляді спіралі то деформація в радіальному напрямі буде незначною, а в осьовому буде мати значну величину. При упакуванні обплетення у вигляді сітки ситуація є супротивною.

При використанні РВТ процес акумулювання енергії визначається ефектом стискання робочої рідини і деформації внутрішніх порожнин магістралей рукава, оцінювати які зручно за допомогою коефіцієнта піддатливості $K(p)$, що характеризує сумарну зміну одиниці об'єму порожнини рукава і робочої рідини, яка відповідає одиничній зміні об'єму.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для дослідження динаміки гідромеханізмів з магістралями у вигляді гнучких рукавів високого тиску (РВТ) необхідно знати їх динамічний коефіцієнт піддатливості $K_d(p)$, величина якого найбільш достовірно може бути визначена в результаті проведення експериментальних досліджень.

Статичний коефіцієнт піддатливості РВТ визначається за формулою:

$$K(p) \approx \frac{\Delta W}{W_0 \Delta p}, \quad (1)$$

де ΔW – зміна об'єму рідини в порожнині РВТ; W_0 – початковий об'єм відомий з конструктивних параметрів РВТ; Δp – зміна тиску в внутрішній порожнині рукава.

Незважаючи на важливість динамічних характеристик РВТ, досліджень та публікацій на цю тематику недостатньо. Існуючі методики не повністю задовольняють в тому числі і роботи авторів [2,3,4,5].

Конструкція РВТ представляє собою досить складну металогумову структуру, і яку справедливо можна віднести до композитних матеріалів. Внаслідок цього досить складно представити аналітично закономірності деформації РВТ під навантаженням тиском в процесі його роботи в реальній машині з гідроприводом.

Ряд вчених в галузі дослідження динаміки гідроприводів запропонували математичну модель РВТ, яка підпорядковується моделі Кельвіна-Фогта [1]. Така модель відноситься до реологічних. Особливість структури матеріалу, згідно з цією моделлю, полягає в тому, що її деформація залежить від швидкості навантаження, тобто має місце статичний E_c та динамічний E_d модулі пружності, які проявляють себе в різних динамічних умовах.

При навантаженнях, що змінюються періодично, на гумовий елемент, наприклад, при вимушених коливаннях в початковому періоді процесу, діє динамічна релаксація амплітуди напруження, яка протікає досить швидко, після чого встановлюються постійні параметри деформації.

Вказані процеси достатньо складні і визначаються фізико-хімічними властивостями в полімерах. Ось чому для інженерних розрахунків гідроприводів з еластичними елементами, що працюють в режимі періодичних деформацій з частотою $f \leq 10^5$ Гц і температурою 18–25 °С, можна скористатися моделлю полімеру, а якщо невеликі швидкості деформації, коли можна знехтувати силами в'язкого тертя, то ця модель може бути моделлю лінійно-пружного тіла.

Вищевикладене дозволяє сформулювати реологічну модель РВТ, вперше запропоновану І. А. Немировським [1] (рис. 1). Позначення поверхонь гумових шарів і розташування гумових обплетень M_1 та M_2 ідентичні.

Циліндричні поверхні, діаметри яких рівні середнім діаметрам металевих обплетень M_1 та M_2 товщиною, значно меншою, ніж товщина гумових шарів, прийняті за умовні поверхні розділу гумових шарів – трубок. Приріст об'ємів порожнин гумових трубок позначені $\Delta W_1, \Delta W_2$ і ΔW_3 , причому $\Delta W_1 = \Delta W_{01} i_1$; $\Delta W_2 = \Delta W_{12} i_2 = \Delta W_{012} i_1 i_2$ і $\Delta W_3 = \Delta W_{23} i_3 = \Delta W_{0123} i_1 i_2 i_3$.

Жорсткості металевих обплетень M_1 і M_2 моделюються пружинами $C_{W_{M1}}$ і $C_{W_{M2}}$.

Гумові шари моделюються як стандартне лінійне тіло, тобто «пружинами» C_{W_1} і C_{W_2} і з'єднуються з ними ланками послідовно з'єднаних «пружин» $C_{P_1}, C_{P_2}, C_{P_3}$ і в'язких «демпферів» b_{P_1}, b_{P_2} і b_{P_3} , що формують процес релаксації (див. рис. 1а).

Координати кінців «пружин» C_P визначаються прирощеннями ΔW_K об'ємів порожнин гумових трубок і прирощеннями ΔW_P «демпферів». Таким чином, прирощення зусилля, що формується моделлю процесу релаксації, записується так:

$$\Delta P_{\text{рел}} = C_{P_K} \cdot (\Delta W_K - \Delta W_{P_K}). \quad (2)$$

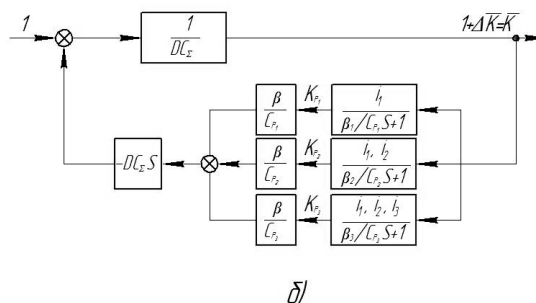
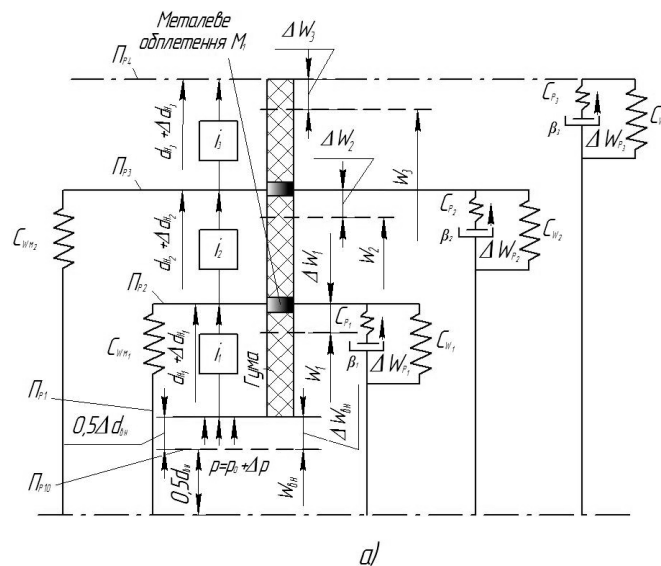


Рисунок 1 – Моделі РВТ з двома обплетеннями: а) реологічна, б) структурна

Реологічна модель в'язко-пружних властивостей РВТ (див. рис. 1а) [1] може розглядатись в двох варіантах: з врахуванням запізнення хвилі деформації в камерах з гумових шарів і без нього. В першому випадку динамічна система рукава є сукупністю послідовно включених ланцюгів першого порядку для яких на місцях передачі сигналу існують загальні краєві умови.

В цілому система рукава, що складається з двох обплетень, описується диференціальними рівняннями третього порядку. В другому – запізнення не враховується, тобто мається на увазі, що всі три гумових шари і металеве обплетення деформуються синхронно і, відповідно, динамічна система має сумарні коефіцієнти жорсткості і в'язкого тертя і описується диференціальним рівнянням першого порядку. Цей варіант виправданий тим, що час передачі імпульсу деформації на відстань δ розглядається на декілька порядків менший постійного часу всієї динамічної системи рукава.

З врахуванням нелінійних залежностей згідно зі схемою (див. рис. 1) математична модель РВТ набуває такого вигляду:

$$D_n = K(p) \cdot (C_{\Sigma n} + k_{c_{W_{\Sigma}}} \cdot \Delta p) + \frac{\Sigma \beta \cdot S \cdot \Delta W_p}{W_0 \cdot \Delta p};$$

$$\beta_1 \cdot S \cdot \Delta W_{p_1} = C_{p_1} \Delta W_0 \cdot i_1 - C_{p_1} \cdot \Delta W_{p_1};$$

$$\beta_2 \cdot S \cdot \Delta W_{p_2} = C_{p_2} \Delta W_0 \cdot i_1 \cdot i_2 - C_{p_2} \cdot \Delta W_{p_2};$$

$$\beta_3 \cdot S \cdot \Delta W_{p_3} = C_{p_3} \Delta W_0 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 - C_{p_3} \cdot \Delta W_{p_3}.$$

Нелінійність першого з рівнянь системи (2) полягає в наявності добутку

$$K(p) \cdot \Delta p, \text{ а також члена } \frac{\Sigma \beta \cdot S \cdot \Delta W_p}{W_0 \cdot \Delta p}.$$

Перехідні процеси досліджуються як реакція $K(p)$ на ступінчасті зміни, частотні – як реакція на сигнал.

Звичайно, що припущення про реологічну модель РВТ потребувала експериментального підтвердження, яке було представлено авторами в роботі [2]. На осцилограмі, представленій на рисунку 2, яскраво виражені дві ділянки пружної та в'язко-пружної деформації РВТ.

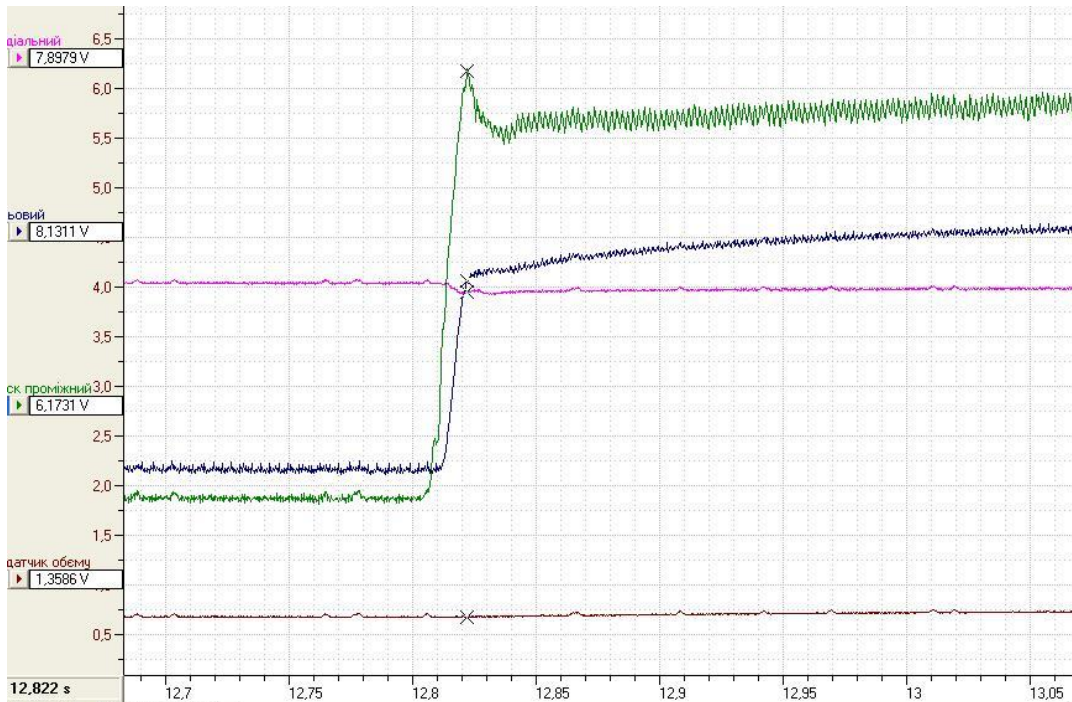


Рисунок 2 – Перехідний процес в порожнині РВТ при одиничному східчастому навантаженні тиском

При побудові амплітудно-частотних характеристик РВТ експериментальним шляхом за наведеною нижче методикою, запропонованою авторами в роботі [2], лабораторний стенд, що використовувався, не в повній мірі забезпечував потрібні характеристики з діапазону частот навантаження. Тому було виконано модернізацію стенда для дослідження динамічних характеристик РВТ.

Амплітудно-частотна характеристика РВТ визначається за формулою:

$$A\Delta L(f) = \frac{A\Delta p(f)A\Delta d_{\text{зовн}}(f)K_d(p)(f)}{2}, \quad (3)$$

де $A\Delta L(f)$, $A\Delta p(f)$, $A\Delta d(f)$ – амплітуди коливань зовнішнього діаметра, тиску в РВТ та переміщення плунжера з частотою вхідного сигналу f ; $K(p)(f)$ – динамічний коефіцієнт піддатливості в РВТ.

Якщо $f \rightarrow 0$, то:

$$A\Delta L_c = \frac{A\Delta p_c A\Delta d_{\text{зовн}} K(p)}{2}, \quad (4)$$

де $A\Delta L_c$, $A\Delta p_c$, $A\Delta d_{\text{зовн}}$ – амплітуди коливань зовнішнього діаметра, тиску в РВТ та переміщення плунжера в статичі.

Враховавши співвідношення $A\Delta p(f) = A\Delta p_c$ (підтримуються зміною ексцентриситету) та розділивши (1) на (2) отримаємо

$$\frac{A\Delta L(f)}{A\Delta L_c} = \frac{A\Delta d_{\text{зовн}}(f)K_d(p)(f)}{A\Delta d_{\text{зовн}}(f)K(p)}. \quad (5)$$

Вираз (5) дозволяє визначити величину динамічного коефіцієнта піддатливості в процесі динамічного навантаження, знаючи при цьому показники датчиків та значення статичного коефіцієнта піддатливості.

В даній роботі пропонується модернізована конструкція стенда для проведення експериментальних досліджень динамічних характеристик РВТ, а також спеціальна методика їх проведення, яка дозволяє отримати достовірні значення $K_d(p)$ для конкретної конструкції рукава та можливість побудови амплітудно- та фазочастотних характеристик.

Принципова схема модернізованого стенда для дослідження РВТ зображена на рис. 3.

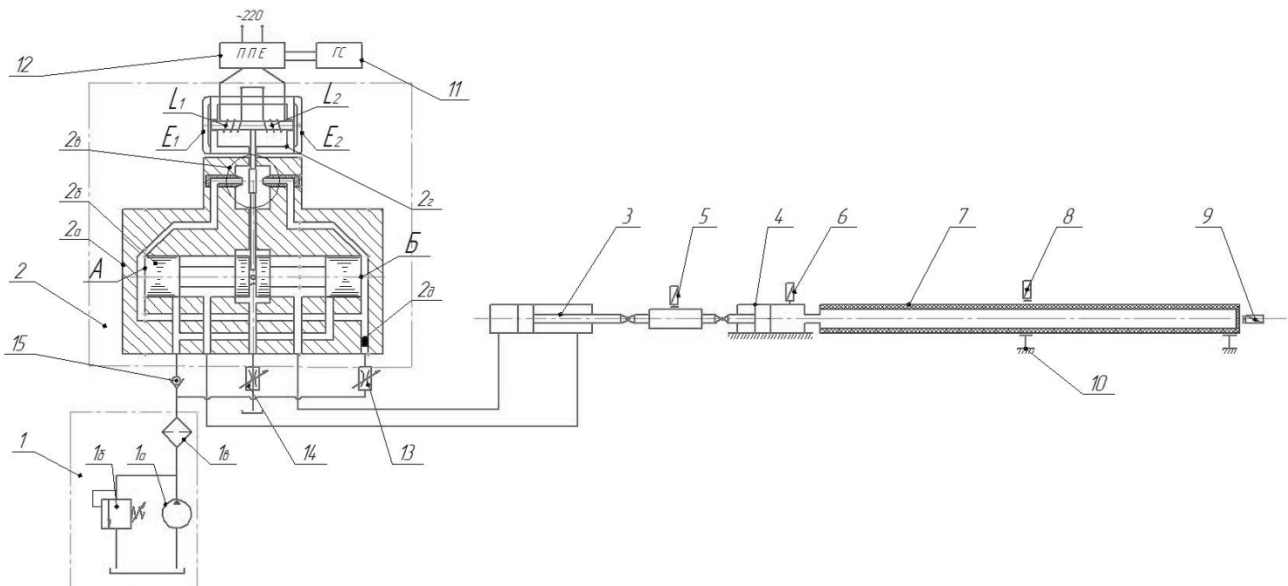


Рисунок 3 – Принципова схема стенда для дослідження динамічних характеристик РВТ

Основні складові стенда: насосна станція 1, електрогідравлічний підсилювач 2, виконавчий гідроциліндр 3, плунжерна пара 4 та зразок трубопровода 7, що досліджується.

В конструкції стенда передбачено реєстрацію руху плунжера (поз. 5), тиску в порожнині РВТ (поз. 6), а також радіальної (поз. 8) та осьової (поз. 9) деформацій РВТ.

Наявність в складі станда електрогідравлічного підсилювача значно розширює його технічні можливості (в порівнянні з конструкцією станда наведеною в роботі [2], де частота навантаження обмежується значенням 12 Гц) з формування тестового навантаження на зразок РВТ, особливо при побудові амплітудо- та фазочастотних характеристик.

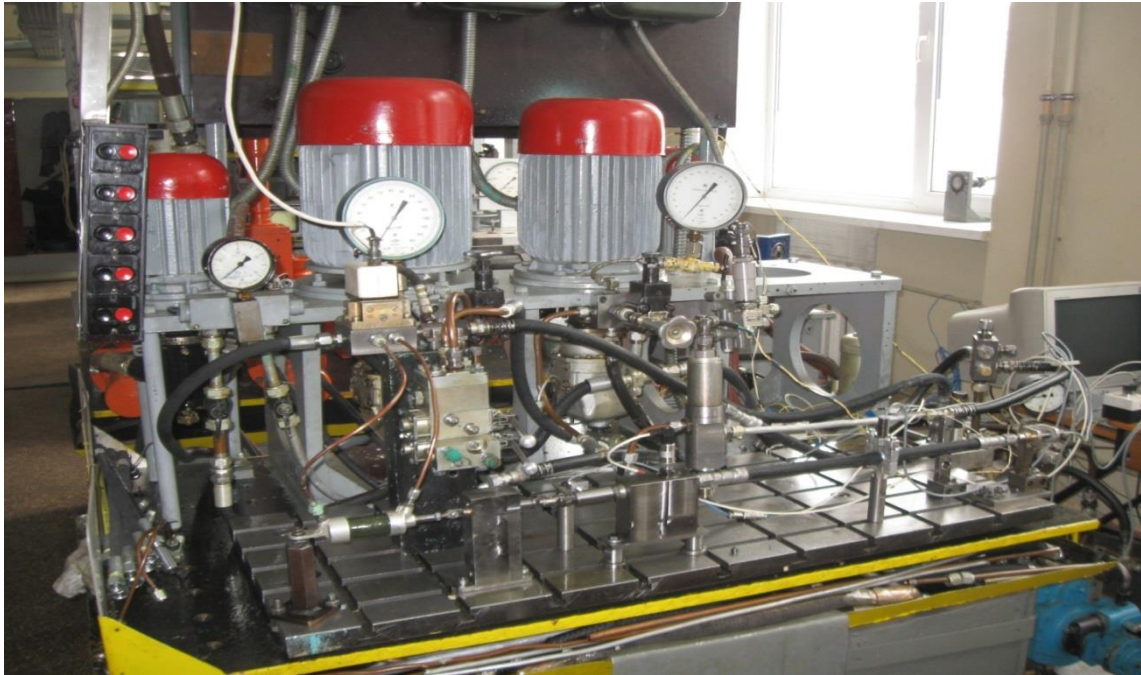


Рисунок 4 – Загальний вигляд станда для експериментального дослідження динамічних характеристик РВТ

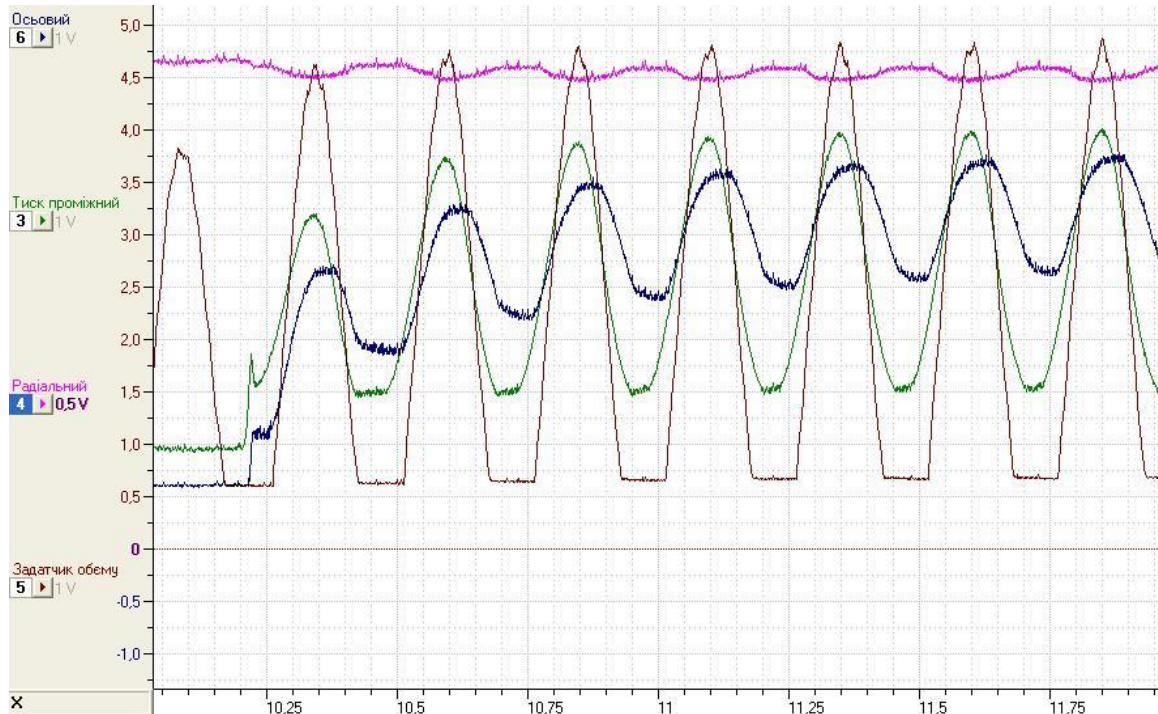


Рисунок 5 – Перехідний процес в порожнині РВТ при навантаженні тиском з частотою 10 Гц

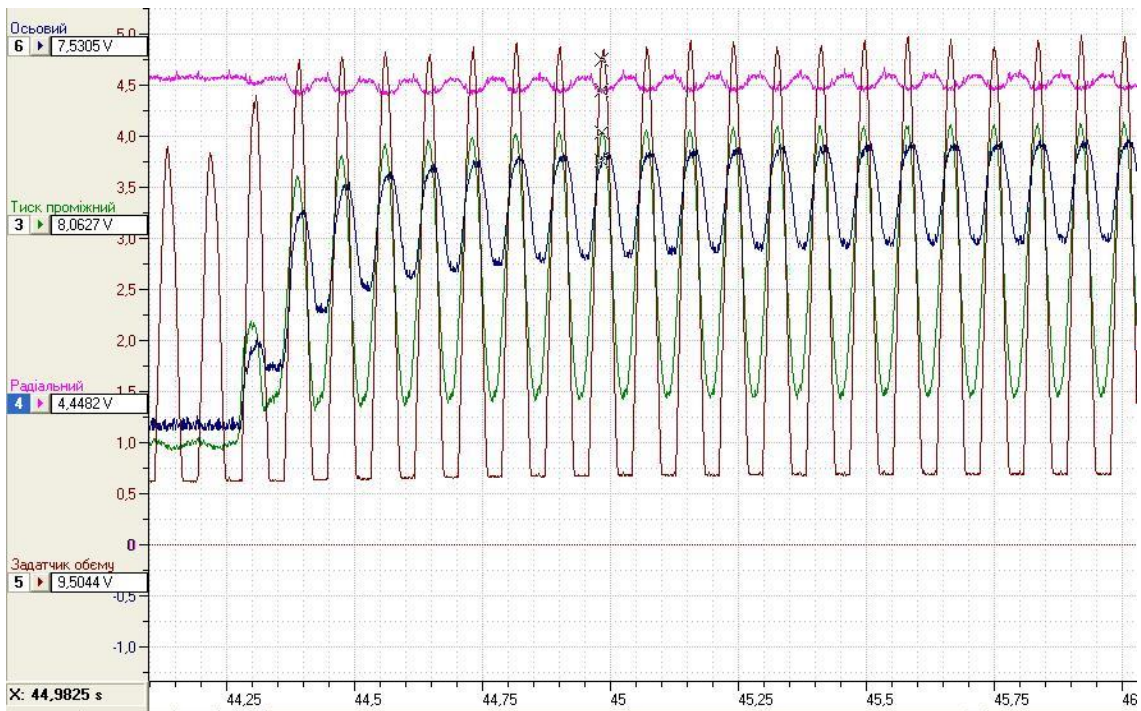


Рисунок 6 – Перехідний процес в порожнині РВТ при навантаженні тиском з частотою 28Гц.

Однією із задач досліджень, представлених авторами в цій роботі, є спроба експериментального підтвердження справедливості моделі Кельвіна-Фогта для РВТ.

В процесі проведення експериментальних досліджень отримані попередні результати, представлені у вигляді осцилограм перехідних процесів, що відбуваються у порожнині РВТ під навантаженням тиском на різних частотах (див. рис. 5 та рис. 6).

Аналіз наведених осцилограм дає підстави прогнозувати, що структура композитного матеріалу РВТ підпорядковується реологічній моделі.

СПИСОК ВИКОРИСТОНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Немировский И. А. Расчет гидроприводов технологических машин / И. А. Немировский. – К. : Техника, 1992. – 181 с
2. Стенд для експериментального дослідження динамічних характеристик гнучких рукавів [електронний ресурс] / В. П. Пурдик, М. Ю. Поздняков // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2013. – № 1. – Режим доступу до журналу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2013-1.files/uk/>.
3. Experimental study on dynamic pipe fracture in consideration of hydropower plant model / K. Ishikawa, Y. Kono, A. Haga, K. Kato, K. Sugawara // Annual Journal Water Science and Engineering. – 2009. – № 2(4). – P. 60 – 68.
4. Tribology of hydraulic pump testing/ George E. Tolten, Gary H. King, Donald M. Smolenski. – Philadelphia : (STP: 1310). – 1997. – 376 p.
5. Rowinski Pawel. Experimental Methods in Hydraulic Research / Pawel Rowinski. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2011. – 321 p.

REFERENCES

1. The calculation of hydraulic drives of technological machines / I. A. Nemirovskiy // Publishing House Technology, 1992. - 181 p.
2. Stand for experimental research of dynamic characteristics of flexible hoses [electronic resource] / V. P. Purdic, M. Y. Pozdniakov // Scientific works of Vinnytsia National Technical University. - №1.-2013. Access to journal: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2013-1.files/uk/>
3. Experimental study on dynamic pipe fracture in consideration of hydropower plant model / K. Ishikawa, Y. Kono, A. Haga, K. Kato, K. Sugawara // Annual Journal Water Science and Engineering. – 2009. – № 2(4). – P. 60-68.

4. Tribology of hydraulic pump testing/ George E. Tolten, Gary H. King, Donald M. Smolenski. – Philadelphia.: (STP: 1310). – 1997. – 376 p.

5. Experimental Methods in Hydraulic Research / Pawel Rowinski. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2011. – 321 p.

В. П. Пурдик¹, М. Ю. Поздняков¹

МОДЕРНІЗАЦІЯ СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГНУЧКИХ РУКАВІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

¹Вінницький національний технічний університет

Об'єкт дослідження – перехідні процеси в порожнині гнучких трубопроводів високого тиску.

Мета роботи – створення та опис модернізованої схеми для дослідження динамічного коефіцієнта піддатливості $K_D(p)$.

В сучасних умовах використання різноманітного технологічного обладнання та машин широко застосовуються гідравлічні приводи, яким не має альтернативи за питомою потужністю та діапазоном регулювання. Практично в кожному з них, крім металевих трубопроводів, використовуються і гнучкі, особливо на рухомих виконавчих органах. В зв'язку з цим динамічні характеристики гнучких трубопроводів безпосередньо впливають на динаміку гідроприводу в цілому. На даний час не існує єдиної аналітичної та ефективної методики визначення динамічних характеристик гнучких трубопроводів високого тиску (РВТ), в першу чергу через складність їх будови, яка представляє собою композитну структуру із низки гумових, тканих та металевих шарів.

Ключові слова: методика; рукава; тиск; динамічні характеристики; стенд; модернізація; коефіцієнт піддатливості.

Пурдик Віктор Петрович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет

Поздняков Михайло Юрійович, аспірант кафедри технології та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: m_p@ukr.net

V. Purdik¹, M. Pozdniakov¹

UPGRADING STAND FOR RESEARCH THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF FLEXIBLE HIGH PRESSURE HOSES

¹Vinnitsa National Technical University

Object of study – transient processes in the cavity of flexible high pressure hoses.

The Purpose of work – create a modernized scheme and description for research of dynamic susceptibility factor $K_D(p)$.

In modern terms the use of various technological equipment and machines commonly used hydraulic actuators, which has no alternative in terms of power density and range management. Almost all of them, except for metal pipes, use flexible hoses, especially in the mobile executive.

In this regard, the dynamic characteristics of flexible pipelines directly affect the hydraulic dynamics as a whole. Currently there is no single and effective analytical method for determining dynamic characteristics of flexible high pressure hoses (HPH), primarily because of the complexity of their structure, which is a composite structure with a number of rubber, woven and metal layers.

Key words: method; hoses; pressure; performance; stand; modernization; compliance coefficient.

Purdik Viktor, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of Department of Technology and Automation of Machine building, Vinnitsya National Technical University

Pozdniakov Mykhailo, Postgraduate student of Department of Technology and Automation of Machine building, Vinnitsya National Technical University, e-mail: m_p@ukr.net

МОДЕРНИЗАЦИЯ СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБКИХ РУКАВОВ ВИСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

¹Винницкий Национальный Технический Университет

Объект исследования – переходные процессы в полости гибких трубопроводов высокого давления.

Цель работы – создание и описание модернизированной схемы для исследования динамического коэффициент податливости $K_d(p)$.

В современных условиях использование разнообразного технологического оборудования и машин широко применяются гидравлические приводы, которым нет альтернативы по удельной мощности и диапазона регулирования. Практически в каждом из них, кроме металлических трубопроводов, используются и гибкие, особенно на подвижных исполнительных органах. В связи с этим динамические характеристики гибких трубопроводов непосредственно влияют на динамику гидропривода в целом. В настоящее время не существует единой аналитической и эффективной методики определения динамических характеристик гибких трубопроводов высокого давления (РВД), в первую очередь из-за сложности их строения, которая представляет собой композитную структуру с рядом резиновых, тканых и металлических слоев.

Ключевые слова: метод; рукава; давление; модернизация; динамические характеристики; коэффициент податливости.

Пурдик Виктор Петрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и автоматизации машиностроения, Винницкий национальный технический университет

Поздняков Михаил Юрьевич, аспирант кафедры технологии и автоматизации машиностроения, Винницкий национальный технический университет, e-mail: m_p@ukr.net