

ухудшенню умов його роботи і суттєвому зниженню холодильного коефіцієнта теплового насоса і холодильного коефіцієнта теплонасосної схеми.

Определено, что применение рассматриваемой схемы кондиционирования воздуха бассейна с рециркуляцией отработанного воздуха обеспечивает повышение холодильного коэффициента схемы с повышением температуры окружающей среды, но не позволяет достичь высокой термодинамической эффективности и повышения предельной температуры наружного воздуха.

Ключевые слова: тепловой насос, бассейн, кондиционирование, рециркуляция.

Надійшла 15.04.2015

Received 15.04.2015

УДК 620.97

В. А. Єрошенко, д-р техн. наук, професор

В. М. Сліденко, канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ГЕТЕРОГЕННІ ЛІОФОБНІ СИСТЕМИ – ПОТУЖНІ ДИСИПАТОРИ ЕНЕРГІЇ КОЛИВАНЬ В ГІДРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Представлено результати досліджень впливу функціонування гетерогенних ліофобних систем (ГЛС) на процес дисипації енергії в гідромеханічних коливальних системах.

На спеціально створеному мультиплікаторному стенді встановлено, що рівень дисипації енергії коливань в реальному гідроприводі може бути близьким до 90%.

Декремент затухання коливання 1,6...2,1. Підтверджена висока ефективність розсіювання механічної енергії за допомогою гетерогенних ліофобних систем в діапазоні частот 0...15 Гц.

Запропоновані раціональні області практичного застосування ГЛС для потужного розсіювання механічної енергії в різних областях техніки

Ключові слова: дисипація енергії, гетерогенні ліофобні системи, репульсивні клатрати, декремент затухання, енергія коливань.

Вступ.

Проблема надійного функціонування технічної системи, наприклад гірничої машини з гідромолотом, у значній мірі залежить від ефективності затухання коливань, породжених робочим органом [1]. Одним із ефективних способів гасіння енергії коливань може бути застосування в гідроприводі нетрадиційних робочих тіл.

В Інституті енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ "КПІ", в лабораторії фундаментальних та прикладних досліджень в області термомолекулярної енергетики проводяться дослідження з розробки і створення нового робочого тіла – гетерогенної ліофобної системи (ГЛС) або репульсивних клатратів (РК) з використанням поверхневих явищ у високодисперсних системах [2-4], а Центром енергозберігаючих імпульсно-хвильових конструкцій, технологій та навчальних систем проводяться дослідно-конструкторські розробки по практичному застосуванню ГЛС.

Гетерогенна ліофобна система – це ансамбль «капілярно-пористе тверде тіло - рідина, що не змочує це тіло» із значною питомою міжфазною поверхнею (200 – 1800 м²/г). Примусова, дією зовнішніх чинників, інтрузія рідини в пори твердого ліофобного тіла під тиском $p_{им}$ супроводжується примусовим розвитком міжфазної поверхні і накопиченням системою великої поверхневої енергії Гіббса. При цьому, зменшення об'єму ГЛС обумовлюється об'ємом пор твердої матриці. Самочинна екструзія рідини з порового простору матриці під тиском $p_{екс}$ повертає систему в початковий стан. Тиск самочинної екструзії $p_{екс}$ майже на порядок менше, ніж тиск примусової інтрузії $p_{им}$. Величезний гістерезис $H = p_{им} - p_{екс}$ в процесах тиск-розширення ГЛС пояснює природу надзвичайно високої дисипації механічної енергії у порівнянні зі спроможністю в'язких рідин (традиційні робочі тіла і засоби розсіювання енергії [5]). Питома об'ємна енергія дисипації за допомогою ГЛС в 10...100 разів перевищує той же показник для в'язких рідин [4, 6].

Цей екстраординарний ефект досягається завдяки специфічній міжмолекулярній взаємодії на розвинених міжфазних поверхнях (рідина–тверде тіло) в ліофобних системах (репульсивних клатратах).

Важливим для оцінки ефективності функціонування ГЛС в складі динамічної системи є встановлення основних параметрів функціонування ГЛС, які впливають на процес дисипації енергії

Метою роботи є експериментальне визначення характеристик ГЛС при навантаженні й розвантаженні тиском у робочій камері мультиплікації на спеціально виготовленому стенді та оцінка потужності дисипації енергії коливань в гідромеханічних системах.

Постановка задачі. Для досягнення мети необхідно встановити принципову можливість розсіювання енергії за допомогою ГЛС, отримати характеристику "тиск-розширення" ГЛС в умовах статичних та динамічних навантажень, встановити рівні декремента затухання коливань та його вплив на реальну гідромеханічну систему, визначити частотний діапазон ефективної роботи ГЛС (або РК).

Матеріал і результати досліджень.

В лабораторних умовах на спеціальному стенді проведено експериментальні дослідження процесу навантаження і розвантаження ГЛС тиском в умовах реального мультиплікаторного гідроприводу. Мультиплікатор тиску (рис.1), розрахункова схема якого показана на рис.2, встановлений на стенді і включає: корпус 1, в якому розташовані ступінчастий шток 2 і камера мультиплікації 3.

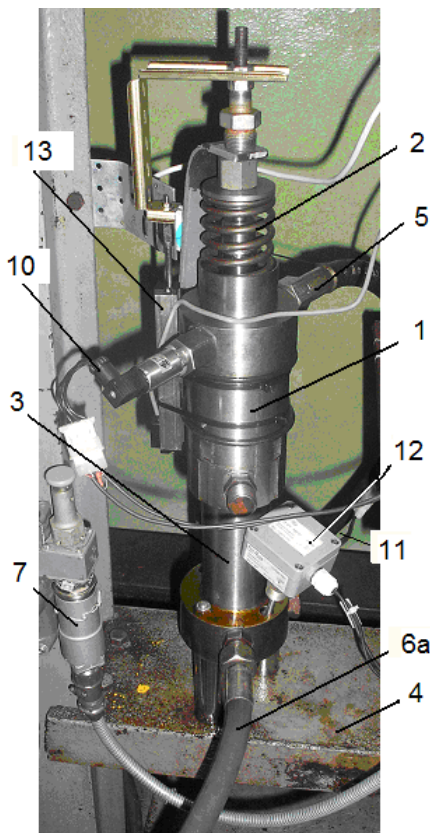


Рис. 1. Стенд для дослідження характеристик мультиплікатора

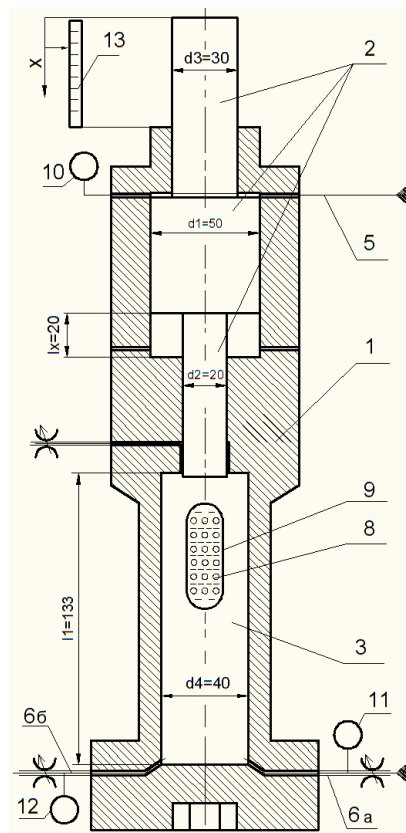


Рис. 2. Розрахункова схема мультиплікатора тиску

До мультиплікатора, встановленого на станині стенду 4 підведені гідравлічні лінії 5, 6а і 6б з можливістю подачі рідини від маслостанції через двохпозиційний чотирьохлінійний електрогідорозподільвач (ГА85М/5) 7, який дистанційно керується ЕОМ за програмою проведення експерименту. В камеру мультиплікації 3 встановлюється ГЛС 8 в гнучкій оболонці-контейнері 9. Для реєстрації параметрів процесу застосовані датчики: тиску 10, 11 (ADZ – SML – 20.0 , діапазон вимірювання тиску 0...50 МПа), температури 12 (Prignstz Mikrosystemtechnik GmbH СТТ 20.50-3) , переміщення 13 (MEGATRON MDCL100, діапазон переміщення 0...100 мм). Підпружинений ступінчастий шток 2 мультиплікатора 1 кінематично зв'язаний з датчиком переміщення 13. Як ГЛС використовували систему "гідрофобізований силікагель ("Symetry C8/ Waters) з сильно розвинутою внутрішньою поверхнею + вода, як робоча рідина" в спеціальному контейнері 9 (50x23x8) мм, який пройшов дегазацію з видаленням з суміші повітря. Як технологічну рідину в камері мультиплікації 3 використовували мінеральне масло АМГ-40.

На рис. 3 відображений момент установки ГЛС (поз. 2) в камеру мультиплікації.

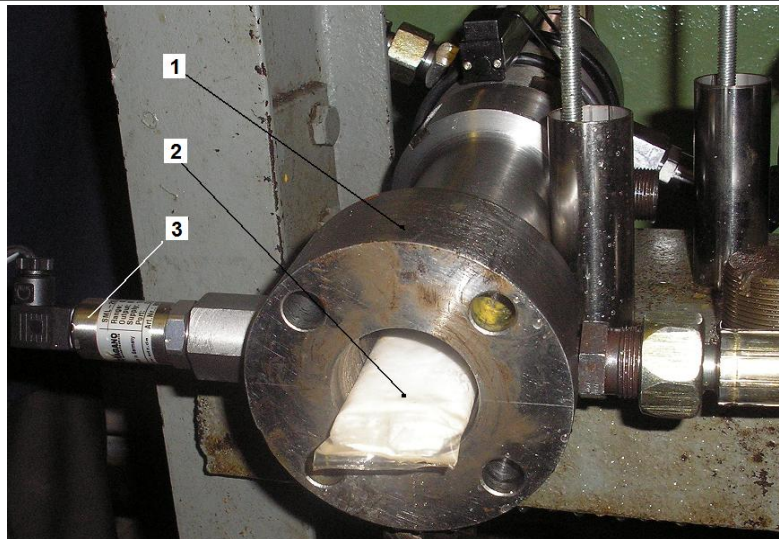
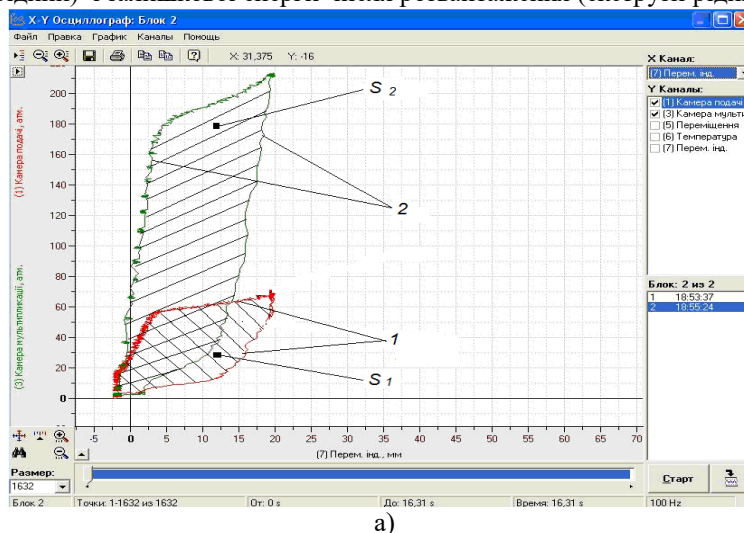


Рис. 3. Установка в камеру мультипликатора 1 ГЛС 2, 3- датчик тиску

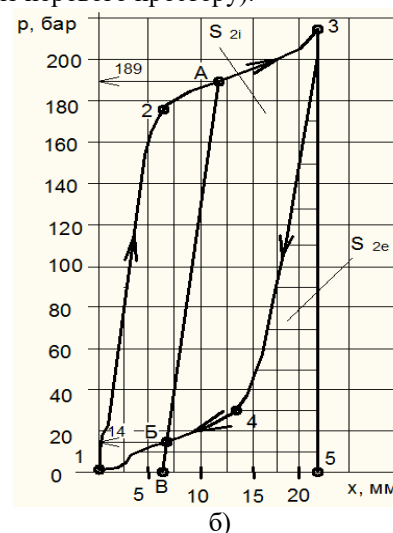
Технологічна рідина з тиском p_1 через канал 4 подається гідроприводом на більшу ступінь штока 2 і переміщує його вниз в напрямку x (рис. 2). При цьому канали ба і бб перекриті, відповідно перекрита камера мультиплікації 3, і в ній скорочується об'єм, відповідно, в ній збільшується тиск p_2 . Виходячи з наведених значень геометричних параметрів (рис.2), теоретичний коефіцієнт мультиплікації k_M визначається співвідношенням $k_M = p_2/p_1 = (d_1^2 - d_3^2)/d_2^2 = (50^2 - 30^2)/20^2 = 4$ [1].

На рис. 4а наведено графіки зміни тиску в лінії нагнітання 5 і камері мультиплікації 3 в залежності від переміщення штоку 2, відповідно $p_1(x)$ та $p_2(x)$, зареєстровані за допомогою програмного забезпечення (ПЗ) "Powergraph". ПЗ "Powergraph" призначене для реєстрації, візуалізації, обробки й зберігання аналогових сигналів, записаних за допомогою АЦП, і дозволяє використовувати персональний комп'ютер, як стандартний вимірювальний прилад (вольтметр, самописець, осцилограф, спектроаналізатор та ін.). Співвідношення площ S_2 і S_1 , обмежених відповідно контурами 2, для камери мультиплікації, та 1, для лінії подачі технологічної рідини під більшу ступінь підпружиненого штока, характеризують розсіювання енергії та реальну мультиплікацію енергії $kw = S_2/S_1$.

На рис. 4б наведена діаграма для аналізу співвідношення енергій в процесі навантаження (інтрузії рідини) і залишкової енергії після розвантаження (екструзії рідини із порового простору).



а)



б)

Рис 4. Результати експериментальних досліджень, а) 1, 2 – криві навантаження-розвантаження відповідно в лінії нагнітання гідроприводу і камері мультиплікації, S_1 , S_2 – площі, які характеризують розсіювання енергії відповідно в лінії нагнітання та камері мультиплікації з ГЛС; б) S_1 , S_2 – площі, які характеризують відповідно початкову енергію інтрузії $W_i = S_{2i} \cdot \pi d_2^2 / 4$ (контур 1-2-3-5-1), та залишкову енергію в кінці екструзії $W_e = S_{2e} \cdot \pi d_2^2 / 4$ (контур 3-4-1-5-3).

Виходячи з аналізу графіків (рис. 4 б), отримано значення ступені максимальної дисипації енергії по лініях А-В та Б-В: $\delta W = \frac{189-14}{189} \cdot 100\% = 92,6\%$. Визначені абсолютні середні значення енергій в камері мультиплікації: $W_i = 114,51$ Дж, $W_e = 37,38$ Дж. Втрата енергії $\Delta W_M = W_i - W_e = 77,13$ Дж.

Проведенням експериментальних досліджень функціонування екскаватора ЕО-4321А з гідромолотом ГПМ-300 (рис. 5), виробництва ПАТ "Атек" (Україна), встановлений синусоїдальний характер затухання коливань напружень в стрілі робочого обладнання (рис. 6) після одиночного удару гідромолота [1]. При цьому енергія хвильової складової в першому півперіоді складає [7]

$$W = \frac{A \cdot c}{E} \cdot \int \sigma^2(t) dt, \quad (1)$$

де A - площа поперечного перерізу (геометричний параметр), c - швидкість хвилі (швидкість звука), E - модуль Юнга, $\sigma(t) = \sigma_{\max} \sin(\omega_1 t)$, σ_{\max} - максимальне значення амплітуди, ω_1 - частота затухаючих коливань. Тоді, з урахуванням $\sigma(t)$, інтегруванням (1) отримаємо

$$W = \frac{A \cdot c}{E} \cdot \int \sigma_{\max}^2 \sin^2(\omega_1 t) dt = \frac{A \cdot c \cdot \sigma_{\max}^2}{E} \cdot \left[\frac{\omega_1 \cdot t}{2} - \frac{1}{4} \sin(2\omega_1 t) + C_1 \right]. \quad (2)$$

За початкових умов: $t=0$, $W=0$ відповідно $C_1=0$. Тоді енергія хвилі напруження в першому півперіоді запишеться

$$W = \frac{A \cdot c \cdot \sigma_{\max}^2}{E} \cdot \left[\frac{\omega_1 \cdot t}{2} - \frac{1}{4} \sin(2\omega_1 t) \right]. \quad (3)$$

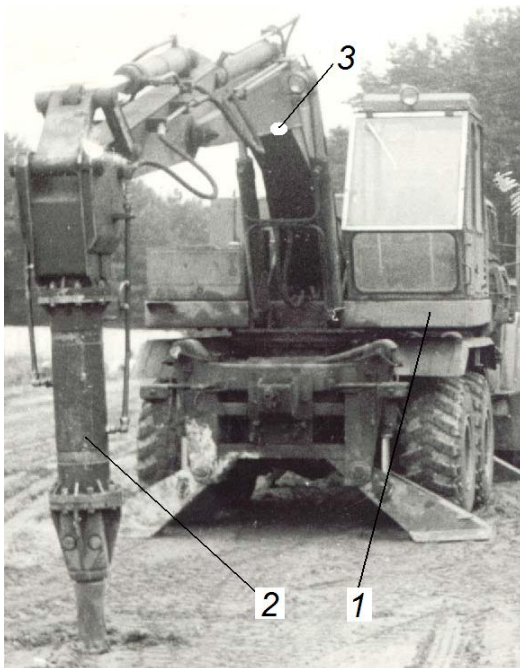


Рис.5. Екскаватор ЕО-4321 (1) з гідромолотом ГПМ-300 (2), місце установки розетки тензодатчиків (3)

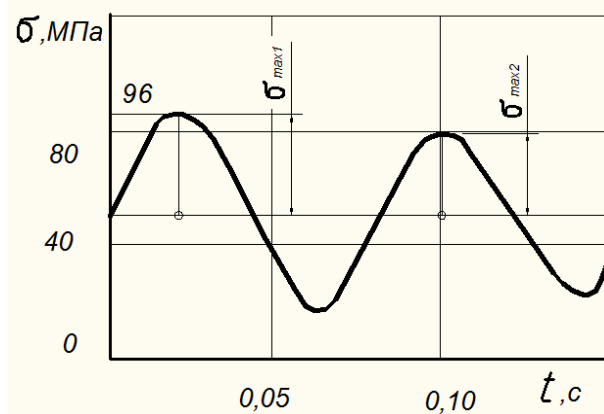


Рис.6. Затухання коливань напружень в стрілі робочого обладнання: $\sigma_{\max 1}$, $\sigma_{\max 2}$ відповідно максимальні амплітуди перших сусідніх півперіодів коливань

Оцінюючи відношення енергій в двох сусідніх максимальних амплітуд синусоїдальної складової коливань (рис.6), відповідно W_1 і W_2 , та враховуючи незмінність параметрів частоти коливань $\omega_1 = const$, отримаємо

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{\sigma_{\max 1}^2}{\sigma_{\max 2}^2}$$

Враховуючи, що $\frac{\sigma_{\max 1}}{\sigma_{\max 2}} = \Delta$ - декремент затухання, отримаємо залежність $\Delta = \sqrt{\frac{W_1}{W_2}}$.

Для випадку коливань (рис.6) декремент згасання складає 1,2.

При використанні в гідроприводі нового робочого тіла ГЛС [8] прогнозовані значення енергії хвилі в першому півперіоді відповідає значенню енергії інтрузії $W_i = 114,51$ Дж, а в другому – залишковій енергії екструзії $W_e = 37,38$ Дж. Тоді декремент згасання для коливань $\Delta = \sqrt{\frac{W_1}{W_2}} = \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} = 1,74$.

На рис. 7 наведено графіки коливань напружень в стрілі робочого обладнання екскаватора від одиночного імпульсу реакції віддачі гідромолота, відповідно для гідроприводу без ГЛС (крива 1) і з ГЛС (прогнозована крива 2, за методом гармонічної лінеаризації Крилова-Боголюбова).

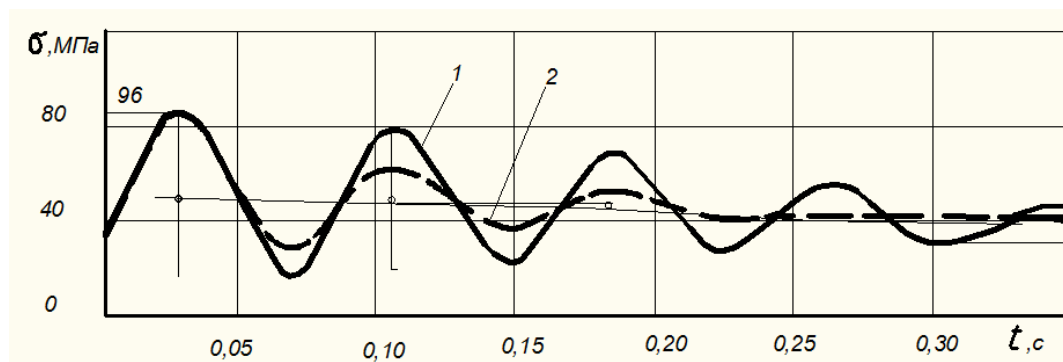


Рис. 7. Криві коливань напружень в стрілі робочого обладнання екскаватора: 1- без застосування ГЛС, 2 - з застосуванням ГЛС в гідроприводі робочого обладнання

Експериментальними дослідженнями за допомогою стенда (рис. 1) встановлений діапазон ефективності ГЛС за частотою 1...15 Гц, за декрементом згасання 1,6...2,1, а для системи амортизації - ефективність за частотою до 22 Гц [4, 6].

Застосування ГЛС зі спроможністю потужної дисипації енергії дозволяє використовувати нові робочі тіла для різноманітних технічних систем: віброзахисні рукоятки відбійних молотків, гідроприводи гірничих машин та механізмів з динамічними виконавчими органами, амортизаційні системи транспортних машин, системи віброзахисту та шумоподавлення двигунів літальних апаратів та інші.

Висновки

Експериментально, за допомогою спеціального стенда з системою комп'ютерного керування і реєстрації, встановлена ефективність застосування в реальному гідроприводі робочих тіл на основі гетерогенних ліофобних систем в умовах навантаження - розвантаження з ступінню розсіюванням енергії понад 90% в одному циклі. Встановлена відповідність квадрата декремента згасання коливань відношенню енергій інтрузії та екструзії ГЛС. Експериментально встановлений діапазон значень декремента згасання в межах 1,6...2,1 з використанням ГЛС в гідроприводі, що значно перевищує значення декремента 1,2, яке характерне для сучасних гідравлічних систем. Робочий частотний діапазон ефективності ГЛС складає 0...22 Гц, що відповідає необхідному частотному діапазону віброзахисних технічних систем.

Отже, експериментально підтверджена ефективність застосування ГЛС для динамічних систем, що забезпечує ефективне використання РК в більшості конструкцій технічних систем промислових підприємств та ВПК України.

Список літератури

1. Сліденко В.М., Шевчук С.П. Стабілізація функціонування гірничої машини з імпульсним виконавчим органом: монографія.-К.: НТУУ "КПІ", 2010.-192с.
2. Eroshenko V.A. Heterogeneous structure for accumulation or dissipation of energy, process to use it and associated devices, International Patent WO 96/18040, 1996
3. Eroshenko V.A. A new paradigm of mechanical energy dissipation. Part 1: theoretical aspects and practical solutions // J. Proc. of mechanical Engineers, Vol. 221. Part D: J. of Automobile Engineering. – 2007. – Vol. 221, № 3. – P. 285–300.
4. Eroshenko V.A., Piatiletov I.I., Coiffard L., Stoudenets V.P. A new paradigm of mechanical energy dissipation. Part 2: experimental investigation and effectiveness of a novel car damper// J. Proc. of Mechanical Engineers. Part D: J. of Automobile Engineering. 2007. Vol. 221. № 3. P. 301–312.c
5. Раймпель Й. Шасси автомобиля: Амортизаторы, шины и колеса/ Пер. с нем. В.П. Агапова; Под ред. О.Д. Златовратского.- М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.

6. Ерошенко В.А., Лазарев Ю.Ф. Реология и динамика репульсивных клатратов/ Прикладная механика и техническая физика. Т. 53, №1. Новосибирск: изд. Сиб.отд. РАН, 2012. – С. 114-131.
7. Шелковников И.Г. Использование энергии удара в процессах бурения. - Л.: Недра, 1997 -159 с.

V. Eroshenko, V. Slidenko

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

HETEROGENEOUS LYOPHOBIC SYSTEMS – THE POWERFUL DISSIPATORS OF ENERGY OSCILLATION IN THE HYDRO-MECHANICAL SYSTEMS

The article presents results of research of influence of the process of the heterogeneous lyophobic systems (HLS) on the process of energy dissipation in hydro-mechanical oscillatory systems.

It was found using the specially created booth multiplier that the energy dissipation level may be close to 90 % in the real hydraulic drive.

The attenuation decrement of the oscillations is in the range 1.6...2.1. The high efficiency of mechanical energy dissipation using the heterogeneous lyophobic systems was confirmed in the frequency range 0 ... 15 Hz.

The rational fields of practical application of HLS for strong mechanical energy dissipation in the various fields of technology were offered.

Key words: energy dissipation, heterogeneous lyophobic systems, repulsive clathrates, attenuation decrement, energy oscillation.

1. Slidenko V.M., Shevchuk S.P. Stabilizacija funkcionuvannia girnichoї maschini z impulsnim vikonavchim organom. – K.: NTUU “KPI”, 2010. – 192 s.
2. Eroshenko V.A. Heterogeneous structure for accumulation or dissipation of energy, process to use it and associated devices, International Patent WO 96/18040, 1996
3. Eroshenko V.A. A new paradigm of mechanical energy dissipation. Part 1: theoretical aspects and practical solutions // J. Proc. of mechanical Engineers, Vol. 221. Part D: J. of Automobile Engineering. – 2007. – Vol. 221, № 3. – P. 285–300.
4. Eroshenko V.A., Piatiletov I.I., Coiffard L., Stoudenets V.P. A new paradigm of mechanical energy dissipation. Part 2: experimental investigation and effectiveness of a novel car damper// J. Proc. of Mechanical Engineers. Part D: J. of Automobile Engineering. 2007. Vol. 221. № 3. P. 301–312.c
5. Raimpel J. Schassi avtomobilia: Amortizatori, schini i kolesa/ Per. s nem. V.P. Agapova; pod red. O.D. Zlatovratskogo. –M.: Maschinostroenie, 1986. – 320 s.
6. Eroshenko V.A., Lazarev J.F. Reologia i dinamika repulzivnich klatratov/ Prikladnaja mehanika i technicheskaja fizika. Т. 53, №1. Novosibirsk: izd. Sib. otd. RAN, 2012. С.114-131.
7. Shelkovnikov I.G. Ispolzovanie energii udara v procesach burenija. – L.: Nedra, 1997 – 159 s.

УДК 620.97

В. А. Ерошенко, д-р техн. наук, профессор

В. М. Слиденко, канд. техн. наук, доцент

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» ГЕТЕРОГЕННЫЕ ЛИОФОБНЫЕ СИСТЕМЫ – МОЩНЫЕ ДИССИПАТОРЫ ЭНЕРГИИ КОЛЕБАНИЙ В ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Представлены результаты исследований влияния функционирования гетерогенных лиофобных систем (ГЛС) на процесс диссипации энергии в гидромеханических колебательных системах.

На специально созданном мультипликаторном стенде установлено, что уровень диссипации энергии колебаний в реальном гидроприводе может быть близким к 90%.

Декремент затухания колебания 1,6...2,1. Подтверждена высокая эффективность рассеяния механической энергии с помощью гетерогенных лиофобных систем в диапазоне частот 0...15 Гц.

Предложены рациональные области практического применения ГЛС для мощного рассеяния механической энергии в разных областях техники.

Предложены рациональные области практического применения ГЛС для мощного рассеивания энергий в разных областях техники

Ключевые слова: диссипация энергии, гетерогенные лиофобные системы, репульсивные клатраты, декремент затухания, энергия колебаний.

Надійшла 15.05.2015

Received 15.05.2015