

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Дмитрієнко Ольга Вячеславівна

УДК 621.22: 627.838

**ПОЛІПШЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ГІДРАВЛІЧНИХ ПАСИВНИХ ГАСИТЕЛІВ ПУЛЬСАЦІЙ У ГІДРОАГРЕГАТАХ
ШЛЯХОМ ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ**

Спеціальність 05.05.17 - Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі гідропневмоавтоматики і гідроприводу Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Андренко Павло Миколайович,
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, м. Харків, доцент кафедри гідропневмоавтоматики і гідроприводу

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лур’є Зіновій Якович,
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, м. Харків, професор кафедри гідравлічних машин;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Сухоробрий Петро Миколайович,
Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного
Національної академії наук України, м. Харків,
старший науковий співробітник відділу аерогідромеханіки

Провідна установа: Сумський державний університет, Міністерство освіти і науки України, м. Суми

Захист відбудеться «25» травня 2006 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.11 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий 19 квітня 2006 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Юдін Ю.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний рівень і подальший розвиток техніки нерозривно пов'язані з інтенсифікацією режимів роботи систем, енергозбереженням, поліпшенням умов праці. Отже, першочерговими постають проблеми оптимізації, які включають забезпечення найкращих енергетичних характеристик всіх елементів системи, у тому числі й гідравлічних пасивних гасителів пульсацій (ПГП), а також зменшення витрат на їхнє виготовлення й експлуатацію, підвищення їхньої надійності та довговічності.

Аналіз виконаних раніше робіт, пов'язаних з методикою проектування ПГП, показав, що в основі її лежать емпіричні залежності, одержання яких пов'язане з проведенням дорогих експериментів. Використання цих залежностей не дозволяє визначити раціональні конструктивні параметри ПГП з урахуванням поставлених до гасителів вимог. Крім цього, їхні існуючі математичні моделі не повністю враховують характеристики робочої рідини (РР), робочі параметри гідроагрегата (ГА) і втрати тиску в ПГП.

Таким чином, поліпшення характеристик гідравлічних ПГП шляхом удосконалення їхньої методики проектування, на основі розроблення їхніх уточнених математичних моделей із застосуванням методів оптимізації, є актуальним науково-практичним завданням, рішення якого й присвячена дана робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі “Гідропневмоавтоматика і гідропривод” НТУ “ХПІ”. Тема роботи відповідає науковому напрямку кафедри в області підвищення технічного рівня ГА. У дисертаційній роботі використовуються результати, одержані за участю здобувача в ході виконання держбюджетної теми “Удосконалення гідравлічних і пневматичних силових систем і систем керування промислового призначення” (№ ДР 0186001283, 1998-2003 р.).

Мета й завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є поліпшення характеристик гідравлічних ПГП (забезпечення більш високого коефіцієнта гасіння пульсацій РР, мінімальних габаритів при стандартних з'єднувальних розмірах) шляхом розроблення методики їх гідродинамічного розрахунку і оптимізації конструктивних параметрів.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані й розв'язані наступні завдання дослідження:

- уточнення класифікації гідравлічних ПГП і вибір їхніх перспективних схем;
- розроблення науково обґрунтованої методики розрахунку несталих гідродинамічних процесів в елементах ГА і побудова на її основі математичних моделей ГА з гідравлічними ПГП різних типів;

- проведення числового експерименту з ГА, який містить ПГП різних типів, для встановлення закономірностей впливу конструктивних параметрів ПГП і робочих параметрів ГА на характеристики гідравлічних ПГП;

- вибір методу оптимізації і розроблення програмних модулів оптимізації параметрів гідравлічних ПГП;

- експериментальні дослідження характеристик гідравлічних ПГП з метою перевірення адекватності їх математичних моделей.

Об'єкт дослідження – нестационарні гідромеханічні процеси, що відбуваються в гідравлічних ПГП і впливають на їх характеристики.

Предмет дослідження – функціональні залежності характеристик ПГП і їх поліпшення шляхом визначення раціональних параметрів ПГП.

Методи дослідження. Дисертаційна робота базується на фундаментальних положеннях механіки рідини та газу, які дозволяють урахувати хвильові процеси, в'язкість та двофазність РР; у роботі використані методи математичного і фізичного моделювання робочих процесів, що відбуваються в гідравлічних ПГП; теорія оптимізації систем, на підставі якої були визначені раціональні параметри ПГП. Математичні моделі представлено звичайними лінійними диференціальними рівняннями, які розв'язувалися чисельними методами. Їх адекватність встановлювалася на основі порівняння результатів математичного моделювання і даних експериментального дослідження параметрів і характеристик ПГП з використанням методів планування експерименту, теорії імовірності і математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному.

- Уперше створено математичні моделі ГА з гідравлічними ПГП камерного й інтерференційного типу на підставі розробленої методики гідродинамічного розрахунку гідравлічної системи (ГС), в основі якої лежать декомпозиція ГС (роз'єднання її на узагальнені структурні елементи – гідравлічні вузли) і розрахунок несталих гідродинамічних (періодичних) процесів за допомогою методу Фур'є;

- уточнено класифікацію гідравлічних ПГП з метою відкриття їхніх нових можливостей;

- встановлено частотні діапазони ефективного застосування гідравлічних ПГП, які з урахуванням робочих параметрів ГА на стадії проектування дозволяють вибрати тип й конструктивну схему ПГП для конкретного ГА;

- встановлено вплив характеристик РР (газовмісту, в'язкості) на характеристики гідравлічних ПГП.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблено науково обгрунтовану методику гідродинамічного розрахунку ГС, використання якої дозволяє одержати математичні моделі ГА з гідравлічними ПГП різних типів.

Запропоновано практичні рекомендації щодо вибору типу, конструктивної схеми ППП і місця його установлення в ГА з урахуванням робочих параметрів конкретного ГА;

Розроблено методику двокритеріальної оптимізації параметрів ППП і комплекс програм для розрахунку раціональних параметрів гідравлічних ППП, які може бути використані при доповненні і удосконаленні інженерної методики проектування гідравлічних ППП.

Результати роботи використано під час розроблення інтерференційного ППП для СП ЗАТ “ХЕМЗ - ІРЕС”, який захищений патентом України і прийнятий для впровадження у виробництво. Математичні моделі ГА з гідравлічними ППП і методика їхнього розрахунку використовуються в навчальному процесі під час виконання курсових і дипломних робіт студентами спеціальності “Гідравлічні і пневматичні машини” НТУ “ХП”, а також у лекційних курсах “Надійність та експлуатація гідромашин і гідроприводів”, “Гідропневмоавтоматика”.

Особистий внесок здобувача. Результати проведених досліджень одержано здобувачем самостійно, серед них: на підставі розробленої методики гідродинамічного розрахунку ГС створено уточнені математичні моделі ГА з гідравлічними ППП; уточнено класифікацію гідравлічних ППП; досліджено вплив конструктивних параметрів гідравлічних ППП, параметрів РР і робочих параметрів ГА на характеристики гасителів, визначено частотні діапазони їх ефективного застосування; розроблено і запропоновано практичні рекомендації щодо вибору типу, конструктивної схеми та геометричної форми проточної частини гідравлічних ППП; розроблено методику, проведено експериментальні дослідження ГА з ППП та оброблено їхні результати з науковим керівником; доповнено і удосконалено інженерну методику проектування гідравлічних ППП.

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на наукових конференціях та семінарах, у тому числі на: IV-VI міжнародних науково-практичних конференціях “Гідроаеромеханіка в інженерній практиці” (м. Суми, 1999; м. Київ, 2000; м. Харків, 2001), міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (м. Харків, 1999, 2002-2004), “Семковські читання” (м. Харків, 1999).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 15 робіт, серед них 12 - у спеціалізованих виданнях, затверджених ВАК України, 1 патент України.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, 8 додатків. Повний обсяг дисертації складає 199 сторінок, з них 27 ілюстрацій по тексту, 7 ілюстрацій на 7 сторінках, 12 таблиць по тексту, 1 таблиця на 1 сторінці, 8 додатків на 64 сторінках, 137 найменувань використаних літературних джерел на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність розглянутої теми, сформульовано мету і задачі досліджень, визначено основні положення, що мають наукову новизну і практичну цінність.

У першому розділі аналізуються причини виникнення пульсацій РР і шуму в ГА. Установлено, що основними причинами появи пульсацій РР на виході об'ємної гідромашини є нерівномірність її подачі та робочі процеси, що відбуваються в ГА. З'ясовано характер коливального процесу РР у ГА і доведено, що дослідження характеристик коливального процесу можна звести до розгляду простих синусоїд.

Доведено, що застосування гідравлічних ПГП є одним з ефективних шляхів зменшення пульсацій РР та шуму в ГА і це дозволяє підвищити технічний рівень та конкурентоспроможність ГА. Наведено приклади застосування ПГП у ГА різного призначення.

Значний внесок у проектування і дослідження ПГП було зроблено такими вченими і дослідниками як М.М. Глазков, В. Коллек, Є.А. Скворчевський, В.П. Шорін й ін. На підставі аналізу наукових робіт з питань теорії розрахунку та дослідження характеристик ПГП встановлено ряд факторів, урахування яких дозволяє підвищити адекватність математичних моделей ПГП реальним об'єктам і поширити діапазон їхнього ефективного застосування. До цих факторів належать: урахування виду законів змінювання фізичних величин в залежності від часу (періодичні процеси); гідравлічних втрат у ПГП; його маси; параметрів РР; робочих параметрів ГА. Ураховуючи ці фактори, було сформульовано науково-практичне завдання – поліпшення характеристик гідравлічних ПГП шляхом удосконалення їхньої методики проектування.

Сформульовано вимоги до конструкцій ПГП, які необхідно враховувати при їх проектуванні. За критерій ефективності ПГП було прийнято коефіцієнт гасіння пульсацій тиску РР, що враховує ступінь зменшення амплітуди вхідних пульсацій тиску РР:

$$k_{\bar{a}} = \frac{A_{\delta \hat{a} \bar{o}}}{A_{\delta \hat{a} \hat{e} \bar{o}}},$$

де $A_{\delta \hat{a} \bar{o}}$, $A_{\delta \hat{a} \hat{e} \bar{o}}$ - відповідно, амплітуда пульсацій тиску РР на вході і виході ПГП.

На підставі проведеного аналізу функціональних схем гідравлічних ПГП уточнено їхню класифікацію.

З урахуванням сформульованих в роботі вимог до гідравлічних ПГП було встановлено, що перспективними є ПГП, схеми яких наведені на рис.1. Було введено наступне позначення ПГП цих типів:

- тип Іа - однокамерний ПГП зі звуженим патрубком на вході;
- тип Іб - однокамерний ПГП зі звуженим патрубком на виході;

- тип Ів - однокамерний ПГП без звуженого патрубку;
- тип ІІ - двокамерний ПГП з двома звуженими патрубками;
- тип ІІІ – інтерференційний ПГП з боковим відгалуженням;
- тип ІV - інтерференційний ПГП з обвідним каналом.

Гасіння пульсацій РР в ПГП камерного типу (див. рис. 1,а,б,в) відбувається завдяки “перекачування” коливальної енергії із джерела в гаситель і назад, а в ПГП інтерференційного типу (див. рис. 1,г,д)- за рахунок інтерференції пульсаційних складових хвиль тиску (витрати).

У другому розділі проведено аналіз існуючих методик гідродинамічного розрахунку несталих процесів, що відбуваються в елементах ГА. Зазначено, що для дослідження періодичних процесів у ГА слід використовувати замість перетворення Лапласа його “періодичний” аналог Фур'є, який може бути покладений в основу методики розрахунку гідродинамічних процесів, що мають місце в ГА з ПГП. РР є одним із основних елементів ГА і отже зміна її характеристик впливає на якість ГА в цілому. Тому під час розроблення математичних моделей ГА з гідравлічними ПГП слід також враховувати ці зміни.

Запропоновано методику гідродинамічного розрахунку ГС, в основі якої лежать декомпозиція ГС (роз'єднання її на узагальнені структурні елементи – гідравлічні вузли) і розрахунок несталих гідродинамічних (періодичних) процесів за допомогою методу Фур'є. Вузлом була названа частина лінії ГС, що складається з порожнини або з декількох порожнин, зв'язаних між собою короткими каналами або дросельними отворами. Даний вузол з'єднується з іншими вузлами трубопроводами.

При побудові математичних моделей ПГП був розглянутий ГА, схему якого наведено на рис. 2.

З огляду на вищесказане, даний ГА із ПГП був представлений у вигляді n вузлів (порожнин), з'єднаних $n-1$ трубопроводами (рис.3).

Для кожної порожнини ($i = 1, 2, \dots, n$) було складено рівняння об'ємного балансу витрат:

$$\alpha_i V_i dp_i / dt = -dV_i / dt - \sum_k A_{\delta\delta_{i,k}} \cdot u_{i,k} - \sum_j \mu \cdot \dot{A}_{i,j} \cdot u_{\delta\delta_i} (\Delta p),$$

де t - час, $\alpha_i = \alpha(p_i)$ - коефіцієнт стискання РР, V_i і p_i - відповідно, об'єм i -ї порожнини і тиск РР в ній, k – кількість трубопроводів, що виходять із i -ї порожнини, $A_{\delta\delta_{i,k}}$ - площі поперечних перерізів трубопроводів, які виходять з i -ї порожнини, $u_{i,k}$ - середні швидкості руху РР у трубопроводах, які виходять з i -ї порожнини, $\mu \cdot \dot{A}_{i,j}$ - ефективні площі каналів, які з'єднує дану порожнину з іншими внутрішніми порожнинами вузла, j - кількість каналів, що з'єднує дану

Швидкість течії РР в трубопроводі було визначено шляхом розв'язання рівняння руху і рівняння нерозривності РР за допомогою методу Фур'є.

Доведено, що величина в'язкого тертя в трубопроводах розглянутого ГА несуттєва і тому при складанні математичної моделі ГА з ПГП його можна не враховувати.

З огляду на вищесказане, математичну модель ГА з ПГП камерного типу (2) було представлено у наступному вигляді:

$$\left. \begin{aligned}
 & \left(\alpha_1 V_1 \omega j - A_{\delta\delta 1} \frac{j}{a_1 \rho} \operatorname{ctg} \left(\frac{\omega}{a_1} l_1 \right) \right) p_1 + A_{\delta\delta 1} \frac{j}{a_1 \rho} \frac{1}{\sin \left(\frac{\omega}{a_1} l_1 \right)} p_2 = q, \\
 & A_{\delta\delta 1} \frac{j}{a_1 \rho} \frac{1}{\sin \left(\frac{\omega}{a_1} l_1 \right)} p_1 + \left(\alpha_2 V_2 \omega j - A_{\delta\delta 1} \frac{j}{a_1 \rho} \operatorname{ctg} \left(\frac{\omega}{a_1} l_1 \right) - A_{\delta\delta 2} \frac{j}{a_2 \rho} \operatorname{ctg} \left(\frac{\omega}{a_2} l_2 \right) \right) p_2 + \\
 & + A_{\delta\delta 2} \frac{j}{a_2 \rho} \frac{1}{\sin \left(\frac{\omega}{a_2} l_2 \right)} p_3 = 0, \\
 & \dots \\
 & A_{\delta\delta i-1} \frac{j}{a_{i-1} \rho} \frac{1}{\sin \left(\frac{\omega}{a_{i-1}} l_{i-1} \right)} p_{i-1} + \left(\alpha_i V_i \omega j - A_{\delta\delta i-1} \frac{j}{a_{i-1} \rho} \operatorname{ctg} \left(\frac{\omega}{a_{i-1}} l_{i-1} \right) - \right. \\
 & \left. - A_{\delta\delta i} \frac{j}{a_i \rho} \operatorname{ctg} \left(\frac{\omega}{a_i} l_i \right) \right) p_i + A_{\delta\delta i} \frac{j}{a_i \rho} \frac{1}{\sin \left(\frac{\omega}{a_i} l_i \right)} p_{i+1} = 0, \\
 & \dots \\
 & A_{\delta\delta n-1} \frac{j}{a_{n-1} \rho} \frac{1}{\sin \left(\frac{\omega}{a_{n-1}} l_{n-1} \right)} p_{n-1} + \left(\alpha_n V_n \omega j - A_{\delta\delta n-1} \frac{j}{a_{n-1} \rho} \operatorname{ctg} \left(\frac{\omega}{a_{n-1}} l_{n-1} \right) + \right. \\
 & \left. + k_n \right) p_n = 0,
 \end{aligned} \right\}$$

де a_i - швидкість звуку РР в i -ом трубопроводі.

Аналогічно, на підставі даної методики, були побудовані математичні моделі ПГП інших типів.

Розрахунком визначено частотні діапазони ефективного застосування розглянутих типів ПГП: для типу Ia - від 150Гц і вище; типу Ib - до 250Гц і нижче; типу II - до 80Гц і вище 190Гц; типу III і IV - до 200Гц. У ході експерименту встановлено, що на величину коефіцієнта гасіння пульсацій тиску РР ПГП типів Ia і II істотно впливає діаметр камери ПГП і діаметр умовного проходу трубопроводу (рис. 4), а значення коефіцієнта гасіння пульсацій тиску РР ПГП

інтерференційного типу, у значній мірі, залежить від робочих параметрів ГА та конструктивних параметрів гасителя (рис. 5,а). Також розрахунком виявлено, що параметри РР значно впливають на характеристики гідравлічних ПГП усіх типів. За цих умов при газовмісті РР від 0,5% і вище найбільш ефективно гасіння пульсацій тиску РР відбувається в ПГП камерного типу, а при газовмісті РР до 1% - у ПГП інтерференційного типу (рис. 5,б).

Установлено, що в ПГП втрати тиску не перевищують 4-6 % від тиску на їхньому вході.

У третьому розділі наведено удосконалену інженерну методику проектування гідравлічних ПГП. Одним із етапів цієї методики є розв'язання оптимізаційної задачі за допомогою методу дослідження простору параметрів (методу ДПП) на базі ЛП-τ-послідовностей. Ефективність даного методу доведена багаторічною практикою проектування ГА і їхніх елементів у НДІгідроприводі у формі ТОВ.

Для ПГП типу Іа було поставлено оптимізаційну задачу: знайти оптимальні конструктивні параметри ПГП заданого типу при заданих функціональних і критеріальних обмеженнях. Для розв'язання цієї задачі були введені варійовані параметри:

$x_1 = d$ - діаметр патрубку (мм), $x_1 \in (8,32)$;

$x_2 = l$ - довжина патрубку (мм), $x_2 \in (40,330)$;

$x_3 = D$ - діаметр камери (мм), $x_3 \in (25,75)$;

$x_4 = L$ - довжина камери (мм), $x_4 \in (80,555)$;

та функції обмежень:

- по довжині камери - $f_1(X) = 10D$, де X – крапка (вектор), якій відповідає набір параметрів (x_1, \dots, x_4) ;

- по довжині патрубку - $f_2(X) = 3d$, $f_3(X) = \frac{2}{3}L$;

- діаметра камери - $f_4(X) = d + 2\delta$, де δ - товщина стінки трубопроводу;

- функцію відносних втрат у ПГП -

$$f_5(X) = \frac{\Delta p}{P_{\hat{a}\hat{o}}} \cdot 100\% = \frac{\left(\left(\lambda_{i1} \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{u^2}{2} \rho + \lambda_{i2} \frac{L}{D} \frac{u_{\hat{e}}^2}{2} \rho \right)}{P_{\hat{a}\hat{o}}} \cdot 100\% ,$$

де Δp - втрати тиску РР в ПГП, $P_{\hat{a}\hat{o}}$ - тиск РР на вході ПГП, λ_{i1} , λ_{i2} - відповідно, коефіцієнти втрат на тертя в патрубку і в камері при несталому режимі руху РР. $\sum \xi$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів, u , $u_{\hat{e}}$ - відповідно, середні швидкості руху РР у патрубку та у камері.

Функціональні обмеження були задані наступними нерівностями

$$f_1(X) \geq x_4, \quad f_2(X) < x_2 \leq f_3(X), \quad f_4(X) < x_3, \quad f_5(X) \leq 6.$$

Якість проектованого ПГП типу Ia оцінювали за двома критеріями.

1. Коефіцієнт гасіння пульсацій тиску РР - $\hat{O}_1(X) = k_{\hat{\alpha}} \rightarrow \max$, де символ \max означає найбільше значення.

2. Величина, обернена масі ПГП –

$$\hat{O}_2(X) = \frac{1}{m} = \frac{1}{\frac{\pi}{4} \left((d+2\delta)^2 - d^2 \right) + L \left((D+2\delta)^2 - D^2 \right) \rho_{\text{н\delta}}} \rightarrow \max .$$

У результаті оптимізації були визначені раціональні конструктивні параметри ПГП типу Ia (табл.) при різному діаметрі умовного проходу d_y і постійній частоті пульсацій тиску РР на виході насосу, яка дорівнювала 192Гц.

Таблиця

Значення оптимальних параметрів ПГП типів Ia при $p_{\hat{\alpha}\delta} = 2,0 \text{ МПа}$, $q = 0,47 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ для різних d_y

Параметри, мм					Втрати, %	Критерії якості	
$d_{\hat{\delta}}$	x_1	x_2	x_3	x_4	f_5	\hat{O}_1	$\hat{O}_2, \text{ кг}^{-1}$
10 - 32	10	330	75	555	5,98	8,6 - 4,3	0,35

Аналогічну оптимізаційну задачу було поставлено і розв'язано також для гідравлічних ПГП інших типів.

На підставі проведеної оптимізації встановлено, що серед камерних ПГП, за умови однакових обмежень, ПГП типу Ia має найвищий коефіцієнт гасіння пульсацій тиску РР; маси всіх розроблених типів ПГП знаходяться біля середнього значення маси серійних гідроапаратів; ПГП типу III має досить високий коефіцієнт гасіння пульсацій тиску РР, що і ПГП типу Ia; при досить високому коефіцієнті гасіння пульсацій тиску РР найменшу масу має ПГП типу IV.

Проведено розрахунок надійності гідравлічних ПГП з використанням методу структурних схем. На основі цього розрахунку виявлено, що імовірність безвідмовної роботи ПГП типу Ia,б і III за 10000 годин складає 0,9401, ПГП типу IV - 0,9592, ПГП типу II - 0,9021. Таким чином, використання гідравлічних ПГП у ГА практично не впливає на його надійність, але покращує його експлуатаційні характеристики.

У четвертому розділі приведено опис фізичних моделей досліджених гідравлічних ПГП, експериментальної установки, приладів і апаратури, наведено методику експериментальних досліджень і оброблено їхні результати.

Під час проведення експериментальних досліджень температуру РР підтримували у діапазоні 50-60°C, вимірювали витрату РР та реєстрували пульсації тиску РР на вході та виході з гасителя. У результаті оброблення експериментальних даних було виявлено, що частота пульсацій тиску РР на виході ПГП практично не змінювалася, а амплітуда пульсацій тиску РР значно зменшилася. (рис. 6, рис. 7) При цьому було встановлено, що довжина звуженого патрубка ПГП камерного типу впливає на величину амплітуди пульсацій тиску РР на виході ПГП (див. рис. 7).

Досліджено, що при збільшенні витрати, що відповідає зменшенню навантаження в ГА, тиск спадає, отже зменшується амплітуда пульсацій тиску РР на виході насоса та ПГП (рис.8).

Визначено, що рівень амплітуди пульсацій тиску РР на виході ПГП типу III при фіксованих значеннях тиску й витрати в ГА залежить від довжини його бокового відгалуження (рис. 9).

Експериментальні дослідження показали, що зі збільшенням рівня тиску в ГА одночасно збільшується амплітуда пульсацій тиску РР на виході насоса та ПГП; за цих умов частота пульсацій залишається постійною. Тому амплітуда пульсацій тиску РР на виході ПГП типу IV, в істотній мірі, залежить не тільки від його конструктивних параметрів, але й від рівня тиску на його вході та навантаження на виході (рис.10).

Проведено оцінювання погрішності вимірів. Експериментальні значення пульсацій тисків РР одержано з імовірністю, яка дорівнює 0,95, і перебувають у довірчому інтервалі, при якому їхнє максимальне відхилення від середнього вимірюваного значення не перевищує 5,5%.

Збіг розрахункових і експериментальних даних за критерієм Фішера підтверджує адекватність математичних моделей ГА з ПГП. Розбіжність між експериментальними та розрахунковими даними не перевищує 4-6 %.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню науково – практичного завдання поліпшення характеристик гідравлічних ПГП шляхом удосконалення їхньої методики проектування, на основі розроблення їхніх уточнених математичних моделей із застосуванням методів оптимізації.

Проведені в дисертаційній роботі теоретичні й експериментальні дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. Розроблено методику гідродинамічного розрахунку ГС, в основі якої лежать декомпозиція ГС (роз'єднання її на узагальнені структурні елементи схеми – гідравлічні вузли) і розрахунок несталих гідромеханічних (періодичних) процесів за допомогою методу Фур'є. Цю методику використано при розробці математичних моделей ГА з гідравлічними ПГП різних типів.

Адекватність математичних моделей встановлено на основі порівняння результатів розрахунку з даними фізичного експерименту.

2. Розрахунком і експериментально встановлено, що застосування в ГА гідравлічних ПГП за умови змінювання тиску у широкому діапазоні дозволяє зменшити рівень його пульсацій в ГА від 1,5 до 15 разів.

3. Установлено, що поза залежністю від типу гідравлічних ПГП, для ефективного гасіння пульсацій РР в ГА вони повинні встановлюватися близько до джерела коливань, тобто безпосередньо за насосом.

4. Розрахунком встановлено частотні діапазони ефективного застосування гідравлічних ПГП: однокамерний зі звуженим патрубком на вході - від 150Гц і вище, однокамерний зі звуженим патрубком на виході - до 250Гц і нижче, двокамерний з двома звуженими патрубками - до 80Гц і вище 190Гц, інтерференційні - до 200Гц. За цих умов коефіцієнт гасіння пульсацій тиску РР однокамерного ПГП зі звуженим патрубком на виході та двокамерного ПГП з двома звуженими патрубками у розглянутому частотному діапазоні значно нижче, ніж у однокамерного ПГП зі звуженим патрубком на вході. Найбільший вплив на коефіцієнт гасіння пульсацій тиску РР однокамерного ПГП зі звуженим патрубком на вході та двокамерного ПГП з двома звуженими патрубками мають діаметр їхньої камери та діаметр умовного проходу трубопроводу. Значення коефіцієнта гасіння пульсацій тиску РР інтерференційних ПГП, як і рекомендований частотний діапазон, здебільшого залежить від їх конструктивних параметрів і робочих параметрів ГА.

За умови дотримання стандартних з'єднувальних розмірів маса ПГП всіх типів не перевищує середню масу серійного гідроапарату, який має аналогічний діаметр умовного проходу.

5. Теоретично й експериментально встановлено, що частота пульсацій РР на виході гідравлічних ПГП дорівнює частоті на їхньому вході, а амплітуда пульсацій залежить не тільки від схеми ПГП і його конструктивних параметрів, а також від робочих параметрів ГА: тиску, витрати і навантаження.

6. Розрахунковим шляхом визначено, що істотний вплив на характеристики гідравлічних ПГП мають параметри РР. При газовмісті РР від 0,5 % і вище найбільш ефективно гасіння пульсацій РР відбувається в ПГП камерного типу, а при газовмісті РР до 1% - у ПГП інтерференційного типу.

7. Установлено, що застосування ПГП у ГА практично не знижує його надійність, але експлуатаційні характеристики ГА поліпшуються.

8. Розроблено комплекс програм і удосконалено інженерну методику проектування гідравлічних ПГП розглянутих типів, які дозволяють у залежності від умов роботи ГА зробити вибір типу гасителя, одержати його раціональні конструктивні параметри та забезпечити ефективно гасіння пульсацій РР у широкому діапазоні змінювання тиску і витрати в ГА. На базі

цієї методики розроблено нову конструкцію ПГП інтерференційного типу, захищену патентом України.

9. Подальше поліпшення характеристик гідравлічних ПГП можливо за рахунок удосконалення проточної частини та послідовного установаження ПГП двох різних типів.

10. Результати роботи впроваджено у виробництво СП ЗАТ “ХЕМЗ - ІРЕС” (м. Харків), а також і у навчальний процес НТУ “ХП” за дисциплінами: “Гідропневмоавтоматика”, “Надійність та експлуатація гідромашин і гідроприводів”.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Андренко П.Н., Дмитриенко О.В., Асатрян Р.Я. Использование пульсаций давления рабочей жидкости в системах гидроприводов // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ, 1997. - Вып. 7. – Ч. 2. - С. 35-37.

Здобувачем проведено аналіз причин виникнення пульсацій тиску РР в ГС.

2. Андренко П.Н., Дмитриенко О.В. Учет упругости рабочей жидкости при проектировании преобразователей пульсаций // Високі технології в машинобудуванні. - Харків: ХДПУ, 1999. – С. 15-17.

Здобувачем обґрунтовано межі змінювання вмісту нерозчиненого повітря в РР і запропоновано враховувати газовміст РР в математичних моделях ГА з гідравлічними ПГП.

3. Андренко П.Н., Клитной В.В., Дмитриенко О.В. Расчет пульсаций давления на выходе однокамерного преобразователя пульсаций // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – К., 1999. – Т. 1, вып. 36. - С. 87-93.

Здобувачем розроблено математичну модель ПГП однокамерного типу з звуженим патрубком на виході за допомогою графоаналітичного методу характеристик.

4. Дмитриенко О.В. Использование преобразователей пульсаций в системах гидроприводов // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ, 1999. – Вып. 53. – С. 39-41.

5. Андренко П.Н., Дмитриенко О.В., Белоусов Э.В. Экспериментальное исследование преобразователей пульсаций // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков: ХГПУ, 2000. - Вып. 79. - С. 32-33.

Здобувач брав участь у розробленні методики, проведенні експериментальних досліджень ГА з ПГП інтерференційного типу та обробленні їхніх результатів.

6. Дмитриенко О.В. Определение параметров пульсаций рабочей жидкости на выходе объемной гидромашины // Вестник Харьковского государственного политехнического

университета. - Харьков: ХГПУ, 2000. - Вып. 100. - С. 53 -55.

7. Дмитриенко О.В. Надежность преобразователей пульсаций // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – К., 2000. – Т. 1, вып. 38. – С. 154-157.

8. Андренко П.Н., Дмитриенко О.В. Блочное проектирование преобразователей пульсаций давления // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” - Харків: НТУ “ХПІ”, 2001. - Вип. 129. – Ч. 2. - С. 200-208.

Здобувачем виконано декомпозицію гідравлічних ПГП на окремі конструктивні блоки та запропоновано використати блоковий принцип в інженерній методиці проектування ПГП.

9. Андренко П.Н., Дмитриенко О.В. Оптимизация математических моделей гидравлических пассивных гасителей пульсаций // Вестник Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт”. Машиностроение. – К., 2002. – Т. 2, вып. 42. – С. 50-53.

Здобувачем розроблено алгоритм оптимізації параметрів гідравлічних ПГП.

10. Андренко П.М., Дмитрієнко О.В., Свиначенко М.С. Шляхи зменшення пульсацій тиску у системах гідроприводів, побудованих з використанням гідравлічного вібраційного контуру // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – Вип. 2(9). – С. 13-16.

Здобувачем запропоновано способи зменшення пульсацій тиску РР в ГА, обґрунтовано вибір типу ПГП для конкретного ГА.

11. Андренко П.М., Дмитрієнко О.В., Свиначенко М.С. Визначення параметрів гідроприводів, у яких доцільно використовувати пасивні гасники пульсацій і гідроапарати з вібраційною лінеаризацією // Механіка та машинобудування. – Харків, 2004. - № 2. – С. 13-21.

Здобувачем виконано аналіз параметрів серійних ГА, в яких доцільно використовувати ПГП і визначені межі змінювання цих параметрів.

12. Андренко П.М., Дмитрієнко О.В. Математичні моделі і розрахункові дослідження гідравлічних гасителів і підсилювачів пульсацій тиску // Східно - Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2004. - № 5(11). – С. 88-93.

Здобувачем розроблено математичні моделі ГА з різними гідравлічними ПГП на підставі нової методики гідродинамічного розрахунку ГС; проведено розрахункове дослідження впливу параметрів РР, робочих параметрів ГА і конструктивних параметрів ПГП на коефіцієнт гасіння пульсацій тиску РР.

13. Пат. 56290 Україна, МПК F 16 L 55/04. Інтерференційний гаситель пульсацій / Андренко П.М., Стеценко Ю.М., Білокінь І.І., Дмитрієнко О.В., Клітної В.В. (Україна). - № 2000073993; Заявл. 06.07.2000; Опубл. 15.05.2003, Бюл. № 5. – 2 с.

Здобувач брав участь в розробленні конструкції ПГП інтерференційного типу з боковим відгалуженням.

АНОТАЦІЇ

Дмитрієнко О.В. Поліпшення характеристик гідравлічних пасивних гасителів пульсацій у гідроагрегатах шляхом визначення їх раціональних параметрів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 - гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. - Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2005.

Дисертацію присвячено теоретичним та експериментальним дослідженням, спрямованим на покращення характеристик ПГП шляхом удосконалення методики їхнього проектування. Створено математичні моделі ГА з гідравлічними ПГП камерного й інтерференційного типу на підставі розробленої методики гідродинамічного розрахунку ГС, в основі якої лежать декомпозиція ГС на узагальнені структурні елементи – гідравлічні вузли, та розрахунок несталих гідродинамічних процесів за допомогою методу Фур’є. Розрахунком встановлено частотні діапазони ефективного застосування гідравлічних ПГП. Доповнено і удосконалено існуючу інженерну методику проектування ПГП, яка, в залежності від робочих параметрів ГА, дозволяє обрати тип гасителя з високим коефіцієнтом гасіння пульсацій тиску РР і мінімальними габаритами за умови стандартних з’єднувальних розмірів. Результати роботи були використані під час розроблення ПГП інтерференційного типу для СП ЗАТ “ХЕМЗ - ІРЕС”, який захищений патентом України та прийнятий для впровадження у виробництво, а також у навчальному процесу у дисциплінах: “Надійність та експлуатація гідромашин і гідроприводів”, “Гідропневмоавтоматика”.

Ключові слова: гідроагрегат, гідравлічні гасителі, гідродинамічний розрахунок, коефіцієнт гасіння, робоча рідина.

Дмитриенко О.В. Улучшение характеристик гидравлических пассивных гасителей пульсаций в гидроагрегатах путем определения их рациональных параметров. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.17 - Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. - Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", г. Харьков, 2005.

Диссертация посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям, направленным на улучшение характеристик гидравлических пассивных гасителей пульсаций (ПГП) путем усовершенствования методики их проектирования. Определены основные причины возникновения пульсаций давления в гидроагрегате (ГА). Установлен характер колебательного процесса в гидросистеме (ГС), и доказано, что исследование характеристик колебательного

процесса можно свести к рассмотрению простых синусоид. Сформулированы требования к конструкциям гасителей и предложен критерий оценки их эффективности - коэффициент гашения пульсаций давления рабочей жидкости (РЖ). Проанализированы существующие методики проектирования ППП и выявлены факторы, учет которых позволяет повысить адекватность математической модели ППП реальному объекту, расширить диапазон его использования. К этим факторам относятся: учет вида законов изменения физических величин в зависимости от времени (периодические процессы), гидравлических потерь в ППП, его массы, рабочих параметров ГА, параметров РЖ. Уточнена классификация гидравлических ППП и выбраны их перспективные схемы. Обосновано, что для эффективного гашения пульсаций жидкости в ГА ППП должен устанавливаться непосредственно за насосом. Установлена граница применения квазистационарных коэффициентов расхода и потерь в математических моделях ГА с ППП. Приведены зависимости, позволяющие учитывать нестационарность гидродинамических процессов при их определении. Для расчета гидродинамических процессов в ГА с ППП была разработана методика, в основе которой лежат декомпозиция ГС (разделение ее на обобщенные структурные элементы – гидравлические узлы) и расчет неустановившихся гидродинамических (периодических) процессов с помощью метода Фурье. На базе этой методики были разработаны математические модели ГА с гидравлическими ППП камерного и интерференционного типов, адекватность которых доказана экспериментально. Теоретически и экспериментально установлено влияние параметров РЖ и ГА на характеристики ППП, определены частотные диапазоны эффективного применения данных гасителей. Дополнена и усовершенствована существующая методика инженерного проектирования ППП, которая, в зависимости от рабочих параметров ГА, позволяет выбрать тип ППП, который при стандартных присоединительных размерах имеет высокий коэффициент гашения пульсаций давления РЖ и минимальные габариты. На основании метода исследования пространства параметров разработаны методика двухкритериальной оптимизации параметров ППП и комплекс прикладных программ для расчета их рациональных параметров. В ходе расчета установлено, что использование данных ППП в ГА практически не снижает его надежность, а эксплуатационные характеристики гидроагрегата улучшаются. Экспериментальными исследованиями установлена адекватность математических моделей ГА с ППП реальным объектам.

Результаты работы использованы при разработке гидравлического ППП интерференционного типа для СП ЗАО "ХЭМЗ - ІРЕС", который защищен патентом Украины и принят для внедрения в производство, а также в учебном процессе НТУ "ХПИ" в дисциплинах: "Надежность и эксплуатация гидромашин и гидроприводов", "Гидропневмоавтоматика".

Ключевые слова: гидроагрегат, гидравлические гасители, гидродинамический расчет, коэффициент гашения, рабочая жидкость.

Dmitrienko O.V. Improvement of Characteristics of Hydraulic Passive Extinguishers of Pulsations in Hydrounits by Definition of their Rational Parameters. - Manuscript.

The thesis for receiving candidate degree of technical sciences of a specialty 05.05.17 - Hydraulic Machines and Hydraulic and Pneumatic Units. - National Technical University “ Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2005.

Theoretical and experimental research concerning the improvement of characteristics of hydraulic passive extinguishers of pulsations by perfection of their designing technique have been carried out. Mathematical models of the hydrounit with hydraulic passive extinguishers of pulsations of chamber and interference types have been developed on the basis of the new technique of the hydrodynamic calculation of hydraulic system based on the decomposition of hydraulic system into the generalized structural elements - hydraulic units, and the calculation of unsteady hydrodynamic processes with the help of Fourier method. The frequency ranges of effective application of have been established by calculation. The existing engineering technique of designing of hydraulic passive extinguishers of pulsations has been extended and developed. It allows to choose type of extinguisher depending on working parameters of the hydrounit with a high pressure pulsation extinguishing coefficient of a working liquid and minimal dimensions of extinguisher under standard connecting sizes. The results of the work have been used at the development of hydraulic passive extinguisher of pulsations of interference type for the joint venture of Joint-Stock Company “ХЭМЗ - IPEC” which has been protected by the patent of Ukraine and has been accepted for implementation. These results have been included into educational process of on disciplines: “Reliability and Operation of Hydromachines and Hydrodrives” and "Hydropneumoautomatics".

Key words: the hydrounit, the hydraulic extinguishers, the hydrodynamic calculation, the extinguishing coefficient, a working liquid.