

УДК 62-82: 532.528 (045)

Т.В. Тарасенко, канд. техн. наук,
М.М. Глазков, канд. техн. наук,
В.Ю. Радченко,
А.С. Власов,
О.С. Пузік

Національний авіаційний університет, м. Київ

СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІДРОПРИВОДНИХ КАВІТАЦІЙНИХ ГЕНЕРАТОРІВ КОЛИВАНЬ ТИСКУ

Приведены экспериментальные характеристики гидроприводных кавитационных генераторов колебаний давления. Исследования характеристик гидроприводных кавитационных генераторов колебаний давления необходимо для разработки высокоэффективных технологий очистки элементов гидропривода от загрязнений, там где использование генераторов колебаний давления других типов представляет значительные трудности.

Experimental descriptions of hydraulic driven cavitation generators of pressure fluctuations are resulted in this article. Research of descriptions of hydroprivednykh cavitation generators of vibrations of pressures is needed for development high-efficiency in technologies of cleaning of elements of hydraulic driven from contaminations, where the use of generators of pressure of other types presents considerable difficulties.

Вступ

Кавітація у гідроприводі супроводжується високочастотними коливаннями тиску значної амплітуди, акустичними шумами і кавітаційною ерозією робочих поверхонь гідроагрегатів. Для систем гідропривода кавітація є небажаним явищем, але її можна використовувати і у корисних цілях, наприклад, для інтенсифікації технологічних процесів, видалення забруднень з агрегатів гідравлічних систем, прискорення ресурсних випробувань шлангів і трубопроводів тощо. Гідравлічні пристрої, які призначені для генерації кавітаційних коливань тиску, називають гідроприводними кавітаційними генераторами коливань тиску (КГКТ).

Переваги використання гідроприводних генераторів полягають у тому, що можливо отримати високі частоти коливань тиску від 0,01 до 30 кГц за максимального рівня коливань, що у 0,5–1,3 разів перевищує стаціонарні значення тиску на вході у генератор. Такі генератори мають мінімальні габарити і масу, просту конструкцію, що не містить жодної рухомої деталі, легко монтується у систему гідропривода.

Однак дотепер немає чітких рекомендацій щодо розрахунку параметрів гідроприводних КГКТ, їх характеристик, вибору режимів роботи, конструктивних матеріалів. Для розв'язання цієї проблеми необхідне проведення певних теоретичних і експериментальних досліджень.

Результати досліджень

У статті наведено результати досліджень спектральних характеристик гідроприводних кавітаційних генераторів коливань тиску, які можна використовувати для промивання і очищення елементів і агрегатів гідропривода від забруднень. У якості генераторів можуть використовуватись наступні дросельні пристрої різного типу (рис. 1).

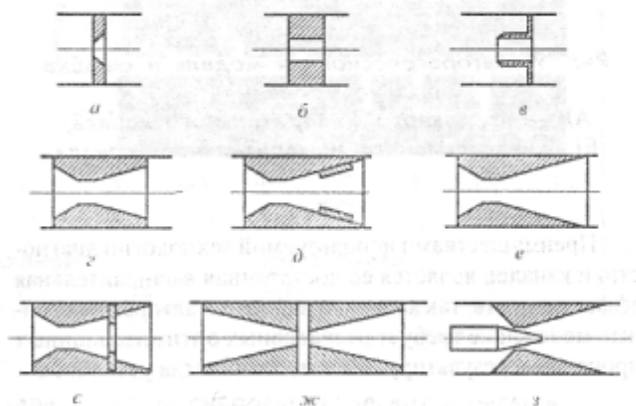


Рис. 1. Конструктивні схеми дросельних пристроїв, що використовуються у КГКТ:

- а — діафрагма; б — циліндричний насадок (насадок Вентурі); в — насадок Борда;
г — короткий конфузотно-дифузортний насадок;
д — конфузотно-дифузортний насадок із випробувальними зразками; е — конфузотно-дифузортний насадок із зразком у вигляді шайби з отвором;
ж — елемент «сопло-сопло»; з — конфузотно-дифузортний насадок із центральним стрижнем

На виході цих пристроїв використовується не тільки кінетична енергія струменів, але й головним чином енергія коливань тиску рідини. Отже, гідроприводний гідродинамічний кавітаційний генератор коливань тиску може бути класифікований як функціональний перетворювач, на вхід якого подається гідравлічна енергія, а на виході знімається енергія хвиль пульсуючого тиску рідини.

Про ефективність даних дросельних пристроїв як кавітаційних генераторів коливань тиску можна судити за їх енергетичними витратно-перепадними характеристиками

$$(\bar{Q})^2 = f(\bar{p}, \Delta p),$$

де $(\bar{Q})^2 = \left(\frac{Q}{Q_{\text{розр}}}\right)^2$ — квадрат безрозмірної витрати

рідини, що проходить через дросельний пристрій; \bar{p} — відносний перепад тиску на дросельному пристрої (рис. 2).

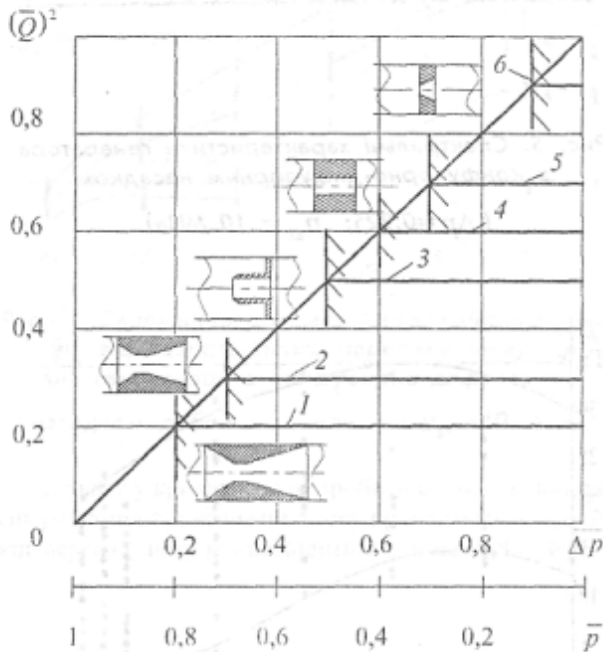


Рис. 2. Енергетичні витратно-перепадні характеристики $(\bar{Q})^2 = f(\bar{p}, \Delta p)$ дросельних пристроїв КГКТ (робоча рідина — АМГ-10):
1 — насадок конфузотно-дифузортного типу;
2 — насадок конфузотно-дифузортного типу укорочений; 3 — насадок Борда;
4 — циліндричний насадок; 5 — насадок із прямокутним каналом; 6 — діафрагма.

Із аналізу показаних енергетичних витратно-перепадних характеристик насадків різних типів випливає, що кавітація відбудеться раніше у насадка конфузотно-дифузортного типу, потім у насадка Борда, а потім у інших насадків. З цього можна зробити висновок, що насадки конфузотно-дифузортного типу ефективніше перетворюють енергію потоку у кавітаційні коливання тиску, ніж інші дросельні пристрої. Найнижчу кавітаційну потужність має діафрагма, через те що кавітація у ній сягає найбільших значень Δp . На рис. 2 показано значення стабілізованих витрат, що дозволяють оцінювати енергію, яка підводиться до потоку рідини.

Енергетичні характеристики генераторів можуть розраховуватись за значеннями коефіцієнтів витрати μ_1 і μ_2 .

Енергія, яка підводиться до потоку при кавітаційному витіканні рідини, складає

$$N_{\text{під}} = p_{\text{вх}} Q_{\text{стаб}},$$

де $Q_{\text{стаб}}$ — стабілізована кавітаційна витрата.

Із врахуванням того, що при кавітації потужність потоку, що витрачається, складає

$$N_{\text{кав}} = p_{\text{вх}} (1 - \Delta p_{\text{кр}}) Q_{\text{стаб}},$$

а при нульовому протитиску витрачається вся енергія, частина кавітаційної енергії дорівнює

$$\frac{N_{\text{кав}}}{N_{\text{під}}} = \frac{p_{\text{вх}} (1 - \Delta p_{\text{кр}}) Q_{\text{стаб}}}{p_{\text{вх}} Q_{\text{стаб}}} = 1 - \Delta p_{\text{кр}}.$$

По розрахунках за даною формулою встановлено, що у КГКТ з насадком Вентурі для розвитку і підтримки зони кавітації може використовуватись 43% енергії потоку, у генератора з конфузотно-дифузортним насадком укороченого типу — 62%, а у КГКТ з повнорозмірним конфузотно-дифузортним насадком — від 62% до 89%.

Гідроприводні кавітаційні генератори коливань тиску створюють широкий (від 40 Гц до 200 кГц) спектр кавітаційних коливань тиску. На рис. 3 представлено осцилограму коливань тиску в генераторі, отриману з використанням лабораторного вимірювального комплексу.

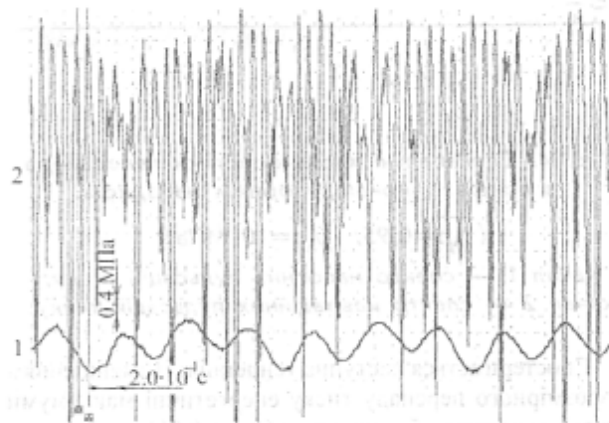


Рис. 3. Кавітаційні коливання тиску в генераторі типу конфузотно-дифузортного насадка

($\Delta p = 0,95$; $p_{\text{вх}} = 10$ МПа; $\delta p_m = 8,66$ МПа);

канал 1 — насосні пульсації тиску;

канал 2 — пульсації тиску у генераторі для камери типу А (датчик встановлено на відстані 18 см від зрізу насадка).

Експериментальні дослідження даного генератора проводились при тиску живлення 10 МПа. Кавітаційні пульсації тиску показує канал 2, канал 1 фіксує насосні пульсації. Кавітаційні коливання тиску КГКТ на відміну від насосних пульсацій мають негармонійний характер, хоча у них можна виділити несучу гармоніку як наслідок негармонійності коливань. Розмах кавітаційних коливань тиску

оцінюється „подвійною амплітудою», під якою мається на увазі величина $\delta p_m = p_{\max} - p_{\min}$. Плунжерна частота насоса складає 442 Гц.

Максимальний розмах пульсуючого тиску складає 8,2 МПа при тиску живлення $p_{\text{вх}} = 10$ МПа. Цей максимум припадає на відносний протитиск $\Delta p = 0,85 - 0,95$.

Максимум „подвійної амплітуди» пульсації ударного тиску для конфузорно-дифузорного генератора на режимі $\Delta p = 0,95$ припадає на частоти від 2 – 5 кГц (рис. 4). На рисунку показано спектр насосних коливань тиску (1) і спектр кавітаційних коливань тиску генератора (2). Як було з'ясовано вище, спектр кавітаційних коливань (пульсації) тиску має негармонійний характер на відміну від насосних пульсацій. На спектрі насосних пульсацій спостерігаються два максимуми, які відповідають частотам 442 Гц і 1342 Гц.

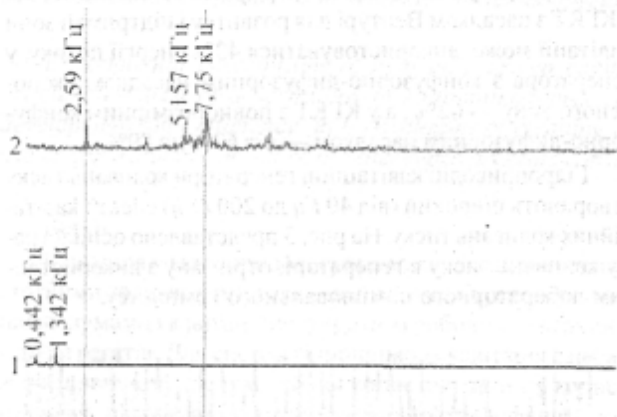


Рис. 4. Спектральні характеристики генератора з конфузорно-дифузорним насадком

($\Delta p = 0,95$; $p_{\text{вх}} = 10$ МПа);

канал 1 — спектр насосних пульсацій тиску;
канал 2 — спектр кавітаційних пульсацій тиску.

Спостерігається наступна тенденція: із зменшенням безрозмірного перепаду тиску енергетичні максимуми амплітуд спочатку збільшуються ($\Delta p = 0,90$), потім починають зменшуватись ($\Delta p = 0,80 - 0,60$), причому частоти енергетичних максимумів із збільшенням протитиску зміщуються у бік високих частот. Зменшення інтенсивності енергетичних максимумів кавітаційних коливань тиску при зменшенні безрозмірного перепаду тиску пояснюється тим, що із зростанням протитиску зменшується перепад тиску на вході і виді КГКТ, це призводить до зменшення швидкості витікання рідини, а значить до зменшення кавітаційного факела. Із збільшенням протитиску кавітація „придушується».

На рис. 5. зображено спектр кавітаційних коливань тиску генератора типу конфузорно-дифузорний насадок. Максимуми спектру відповідають частотам 2,929 кГц; 4,089 кГц; 8,178 кГц; 12,26 кГц; 16,35 кГц; 20,38 кГц. Несучими частотами є частоти 4,089 кГц і 8,178 кГц.

При збільшенні протитиску збільшується інтенсивність максимумів у височастотній області спектрограми. Дану тенденцію представлено на рис. 6.

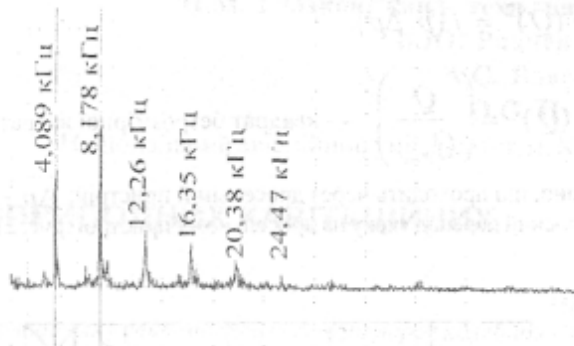


Рис. 5. Спектральні характеристики генератора з конфузорно-дифузорним насадком

($\Delta p = 0,925$; $p_{\text{вх}} = 10$ МПа).

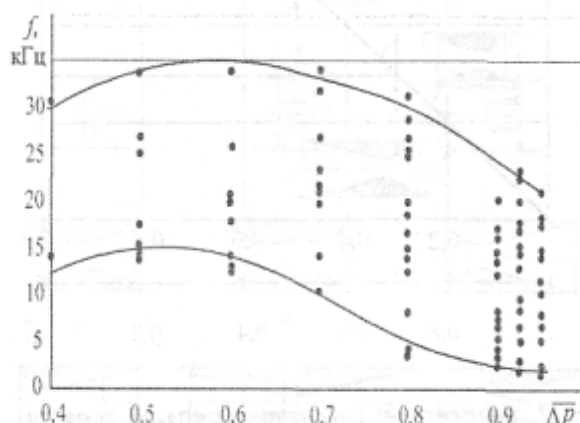


Рис. 6. Залежність частоти енергетичних максимумів від безрозмірного перепаду тиску для генераторів з конфузорно-дифузорним насадком і робочою камерою Б ($p_{\text{вх}} = 10$ МПа).

Низькочастотна складова кавітаційних коливань тиску (400 – 800 Гц) є наслідком модуляції плунжерної частоти насоса із частотою сходу дискретних мас рідини. Височастотна складова спектра (1–10 кГц) кавітаційних коливань тиску формується, здебільшого, у результаті співударянь дискретних мас рідини із загальмованим потоком рідини (так званий «снарядний» рух рідини). «Снарядний» рух дискретного струменя створює потужні пульсації тиску, їх амплітуда перевищує у 0,5–1,3 рази тиск живлення генератора. При співударянні дискретних мас рідини виникає захоплення мікрокаверн, що знаходяться у об'ємі рідини (з частотою 20 кГц і вище).

З метою встановлення оптимального режиму роботи генератора, при якому спостерігаються максимальні значення тиску за генератором при коливаннях ударного характеру було отримано наступну характеристику генератора — залежність величини безрозмірного ударного тиску δp_m від відносного перепаду тиску Δp (рис. 7).

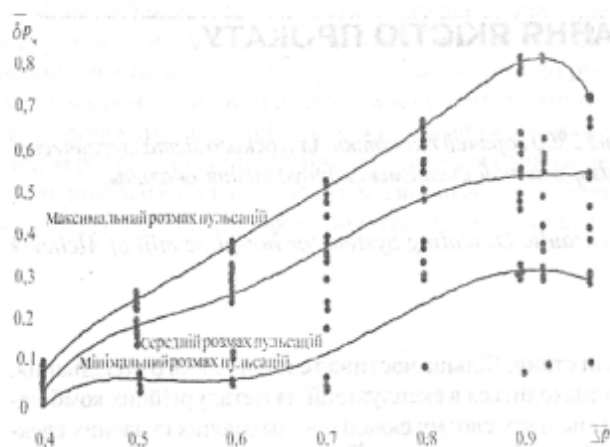


Рис. 7. Залежність розмаху безрозмірного тиску δp_m від безрозмірного перепаду тиску Δp для генератора з конфузорно-дифузорним насадком робочої камери А ($p_{вх} = 10$ МПа).

Із аналізу кривих можна зробити висновок, що максимуми амплітуд коливань тиску припадають на відносний перепад тиску, що знаходиться у межах 0,85 – 0,95.

Висновки

На підставі аналізу існуючих типів КГКТ та їх витратно-перепадних характеристик визначено, що у КГКТ з насадком Вентурі для розвитку і підтримки зони кавітації може використовуватися до 43% енергії потоку, у генератора з конфузорно-дифузорним насадком скороченого типу — до 62% енергії потоку, а у КГКТ з повнорозмірним конфузорно-дифузорним насадком — від 62% до 89% енергії потоку.

Проведені експериментальні дослідження кавітаційних коливань тиску в дросельних пристроях кавітаційних генераторів показали, що при зменшенні безрозмірного перепаду тиску зменшується розмах пульсацій тиску і несучі частоти коливань зміщуються у височастотну область. Максимальні розмахи кавітаційних пульсацій тиску $\delta p_m = 0,85$ спостерігаються при безрозмірному перепаді тиску $\Delta p = 0,85 - 0,90$.

Література

1. Пилипенко, В.В. Кавитационные колебания. — К.: Наукова думка, 1989. — 316 с.
2. Oba R. Stochastic behavior (randomness) of acoustic pressure pulses in the near subcavitating range / R. Oba, X. Miyakura / Intern. Journal. — 1987. — P. 581—586.
3. Красильников, А.И. Спектральная функция скачков кавитационного шума. — К: КПИ, 1985. — 16 с.

Надійшла 05.09.2010 р.