

УДК 62-82:535.528

DOI: 10.18372/0370-2197.4(101).18081

Т. В. ТАРАСЕНКО, В. М. БАДАХ, Т. І. СИВАШЕНКО

Національний авіаційний університет, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНОЇ ЕРОЗІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Подано результати експериментальних досліджень закономірностей зношування конструкційних матеріалів при дії гідродинамічної кавітації. Визначено конструкційні матеріали, які застосовуються у гідравлічному машинобудуванні, що мають високу стійкість до кавітаційної ерозії. Запропоновано у якості генератора кавітації при дослідженнях кавітаційної стійкості конструкційних матеріалів, використовувати дросельний пристрій, який працює у режимі розвинутої кавітації, який є дросельним кавітаційним генератором коливань тиску. Оцінено ефективність дросельних кавітаційних генераторів на основі їх витратно-перепадних характеристик. Визначено діапазон перепадів безрозмірного тиску для ефективної роботи дросельного кавітаційного генератора коливань тиску для дослідження кавітаційної ерозії конструкційних матеріалів. Досліджено особливості кавітаційних коливань тиску що створює дросельний кавітаційний генератор коливань тиску. Встановлено вплив геометричних параметрів дросельного кавітаційного генератора коливань тиску на інтенсивність кавітаційної ерозії. Визначено аналітичні залежності швидкості зміни маси зразків від тиску на вході у дросельний кавітаційний генератор коливань тиску.

Ключові слова: кавітація, кавітаційна ерозія, колапс каверн, кавітаційні коливання тиску, дросельний пристрій.

Вступ. Особливостями роботи гідравлічної системи літального апарату є високий тиск, значна витрата і напружений температурний режим. Якщо потік робочої рідини дроселюється зі значним перепадом тиску, то виникає кавітація. Кавітація у гідроприводі супроводжується інтенсивними високочастотними коливаннями тиску [1, 2], значним акустичним шумом, призводить до хибних спрацювань гідравлічних агрегатів, виходу їх із ладу, руйнуванню і зміни властивостей робочої рідини, та викликає кавітаційну ерозію в елементах гідравлічного приводу. Оскільки в гідроприводах кавітація явище небажане, тому для запобігання виникнення цього явища, необхідно розуміння механізму виникнення кавітації та особливостей перебігу кавітаційної ерозії.

Для запобігання наслідків кавітації у гідравлічних пристроях, або навпаки, для інтенсифікації ерозійних властивостей кавітаційного струменя, необхідно дослідити механізми кавітаційної ерозії на конструкційні матеріали і вплив різних факторів на розвиток кавітаційної ерозії. Кавітація та кавітаційна ерозія досліджуються більше століття. Відомо, що піки високого тиску, які виникають внаслідок колапсу бульбашок викликають пошкодження конструкційних матеріалів. Кавітаційна ерозія спричиняється головним чином за рахунок групового колапсу бульбашок поблизу поверхні твердого тіла [3]. На сьогодні існують два механізми руйнування поверхні внаслідок імплзії від колапсу бульбашок. Це є механізм створення ударної хвилі під час колапсу бульбашки чи хмари і механізм кумулятивного струменя, викликаного окремою бульбашкою. Група авторів [3, 4] наводить дані, що незважаючи на те, що тиск гідродару може спричинити вдвічі більшу максимальну пластичну деформацію порівняно з

ударною хвилею, об'єм удару дуже малий. З іншого боку, ударна хвиля, створена в результаті колапсу бульбашки, може пластифікувати у 800 разів більший об'єм, що призводить до вищої швидкості ерозії.

Окрім мікромасштабної динаміки мікробульбашок, оцінка кавітаційної ерозії поверхонь потребує аналізу великомасштабних гідродинамічних механізмів. В роботі [5] представлено розробку інструменту оцінки ризику ерозії, спричиненої кавітацією, який пов'язує прогнози моделювання багатофазного потоку з інтенсивністю ерозії матеріалу. Розвиток багатофазного потоку в каналі було змодельовано за допомогою моделі стисливої суміші, де зміна фази була представлена за допомогою однорідної моделі релаксації, а розвиток турбулентного потоку було змодельовано за допомогою підходу динамічної структури для симуляції великих вихрів. Автором оцінювався інкубаційний період кавітаційної ерозії за методом накопиченої енергії. Локалізація ерозії відбувалась у дросельному каналі. Але автором не наведено даних про перебіг кавітаційної ерозії поза дросельним каналом. Дослідження локалізації кавітаційної ерозії поза дросельним каналом дозволить ефективно випробовувати конструкційні матеріали на кавітаційну стійкість, та створити ефективну технологію очищення поверхонь від забруднень, емульгування сумішей тощо.

Метою дослідження було встановлення закономірностей перебігу кавітаційної ерозії конструкційних матеріалів при високонапірному дроселюванні рідини в залежності від геометричних параметрів дросельного кавітаційного генератора коливань тиску і режиму його роботи.

Результати досліджень та їх аналіз. Для дослідження кавітаційної ерозії конструкційних матеріалів у якості генераторів кавітаційного потоку було досліджено дросельні пристрої різної конфігурації. На виході цих пристроїв при колапсі каверн використовується не тільки кінетична енергія струменів, але і енергія коливань тиску рідини. Таким чином, дросельний кавітаційний генератор коливань тиску класифікується як функціональний перетворювач, на вхід якому подається гідравлічна енергія, на виході якого генерується енергія хвиль пульсуючого тиску. При виборі геометрії кавітаційного генератора з метою дослідження конструкційних матеріалів на кавітаційну стійкість, генератор має задовольняти таким вимогам: 1) якомога більша частина енергії потоку має бути витрачено на створення кавітації; 2) зона ерозійної дії має бути максимальною.

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 $(\bar{Q})^2 = \left(\frac{Q}{Q_{розр}} \right)^2$ – квадрат безрозмірної

витрати рідини, що проходить через дросельний пристрій; \bar{p} – відносний перепад тиску на дросельному пристрої (рис. 1) [6].

Із аналізу наведених енергетичних витратно-перепадних характеристик насадків різних типів випливає, що кавітація наступить раніше у насадка конфузотно-дифузотного типу, потім у насадка Борда, а потім у інших насадків. З цього можна зробити висновок, що насадки конфузотно-дифузотного типу ефективніше перетворюють енергію потоку у кавітаційні коливання тиску, ніж інші дросельні пристрої. Найнижчу кавітаційну потужність має діафрагма, так як

кавітація у ній настає в при найбільших значеннях $\overline{\Delta p}$. На рис. 1 наведено значення стабілізованих витрат, що дозволяє оцінювати енергію, яка підводиться до потоку рідини.

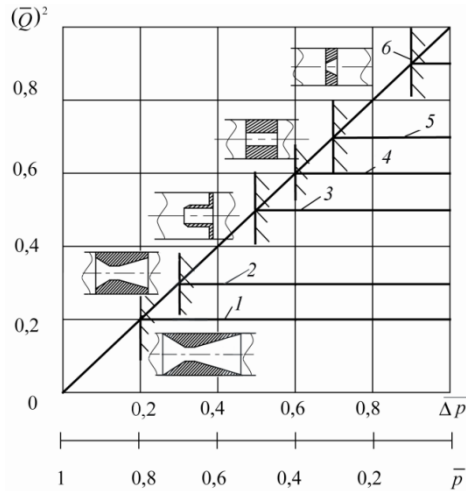


Рис. 1. Енергетичні витратно-перепадні характеристики $(\overline{Q})^2 = f(\overline{p}, \overline{\Delta p})$ дросельних кавітаційних генераторів (робоча рідина – АМГ-10): 1 – насадок конфузорно-дифузорного типу; 2 – насадок конфузорно-дифузорного типу укорочений; 3 – насадок Борда; 4 – циліндричний насадок; 5 – насадок із прямокутним каналом; 6 – діафрагма

Порівняльний аналіз витратно-перепадних характеристик дросельних пристроїв різних типів показує, що у якості генераторів кавітаційних коливань тиску доцільно використовувати насадки конфузорно-дифузорного типу і циліндричні насадки Вентурі, оскільки вони мають просту конструкцію і невеликий гідравлічний опір.

Скорочений конфузорно-дифузорний насадок відповідає вимогам максимальної зони ерозії. Кавітаційний факел виходить за межі дросельного каналу на торець генератора і локалізація кавітаційної ерозії відбувається за межами дросельного каналу. Обробка таким кавітаційним факелом дослідної мішені дозволяє досягнути високого значення кавітаційної ерозії.

Енергія, що підводиться до потоку із зростанням $\overline{\Delta p}$ понад критичної величини, витрачається на утворення кавітаційних розривів суцільності. Подальше збільшення перепаду понад $\overline{\Delta p}_{кр}$ призводить до збільшення довжини кавітаційного факела при постійній витраті рідини. Автомодельність отриманих характеристик за числом Рейнольдса настає з моменту досягнення $Re = 8000$.

Енергетичні характеристики генераторів можуть розраховуватись за значеннями коефіцієнтів витрати μ_I і μ_{II} . Енергія, яка підводиться до потоку при кавітаційному витіканні рідини, складає:

$$N_{під} = p_{вх} Q_{стаб},$$

де $Q_{стаб}$ – стабілізована кавітаційна витрата.

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

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

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

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

На підставі розрахунків за даною формулою встановлено, що в дросельному кавітаційному генераторі типу насадок Вентурі для розвитку і підтримки зони кавітації може перетворитись 43% енергії потоку у кавітацію, у генераторі з конфузorno-дифузornoм насадком скороченому типу – 62% енергії потоку, а у генераторі типу повнорозмірний конфузorno-дифузornoний насадок – від 62% до 89% енергії потоку, але локалізація кавітаційної ерозії може відбуватись у дросельному каналі.

Дросельні кавітаційні генератори створюють широкую смугу частот [1-3] кавітаційних коливань тиску (від 40 Гц до 200 кГц). Широка смуга частот кавітаційних коливань тиску пояснюється одночасною дією різних механізмів генерування кавітаційних коливань тиску [4,8,9], які відбуваються на макро- і макрорівнях. Експериментальні дослідження кавітаційних коливань тиску проводились при тиску живлення 10 МПа. Кавітаційні коливання тиску (рис.2, канал 2), на відміну від насосних пульсацій (рис. 2, канал 1), мають негармонійний характер, хоча у них можна виділити несучу гармоніку, внаслідок негармонійності кавітаційних коливань тиску, розмах коливань тиску оцінювався „подвійною амплітудою”, під якою мається на увазі величина $\delta p_{\text{м}} = p_{\text{max}} - p_{\text{min}}$.

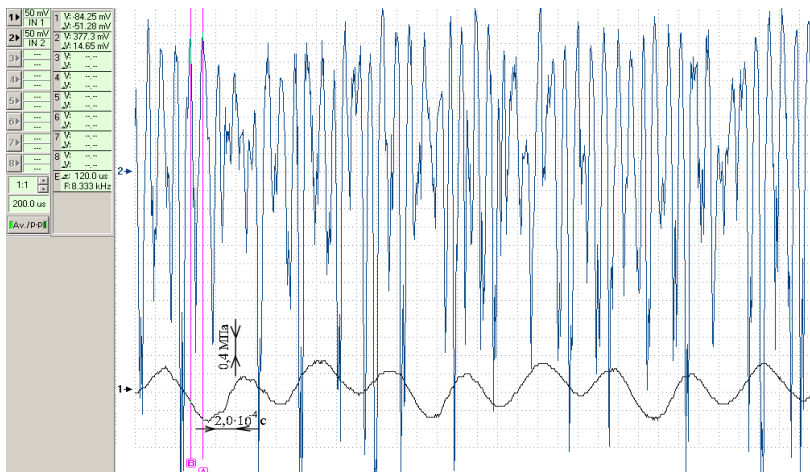


Рис. 2. Кавітаційні коливання тиску за дросельним кавітаційним генератором типу конфузorno-дифузornoний насадок ($\overline{\Delta p} = 0,95$; $p_{\text{вх}} = 10$ МПа; $\delta p_{\text{м}} = 8,66$ МПа);

канал 1 – насосні пульсації тиску; канал 2 – кавітаційні пульсації тиску (датчик встановлено на відстані 18 см від зрізу насадка)

З метою встановлення ефективного 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 $\overline{\delta p_m}$ від безрозмірного перепаду тиску $\overline{\Delta p}$ (рис. 3).

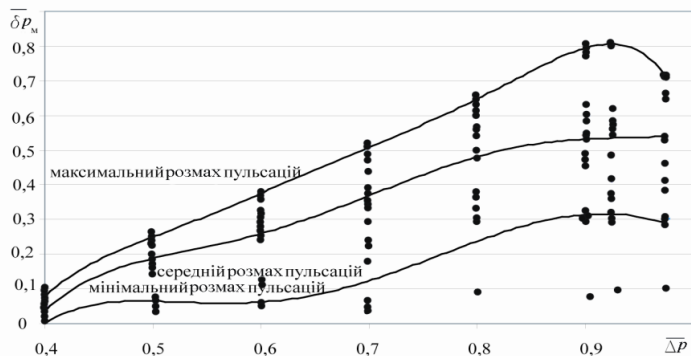


Рис. 3. Залежність безрозмірного розмаху тиску $\overline{\delta p_m}$ від безрозмірного перепаду тиску $\overline{\Delta p}$ для генератора типу конфузотно-дифузортний насадок ($p_{\text{вх}}=10$ МПа)

Максимальний розмах пульсуючого тиску складає 8,2 МПа при тиску живлення $p_{\text{вх}}=10$ МПа. Цей максимум припадає на відносний протитиск $\overline{\Delta p}=0,85 - 0,95$. Максимум „подвійної амплітуди” пульсацій ударного тиску для конфузотно-дифузортного генератора на режимі $\overline{\Delta p}=0,95$ припадає на частоти від 2 – 5 кГц.

Із подальшим зменшенням безрозмірного перепаду тиску енергетичні максимуми спектру зміщуються у бік високих частот (рис. 4). Найбільших

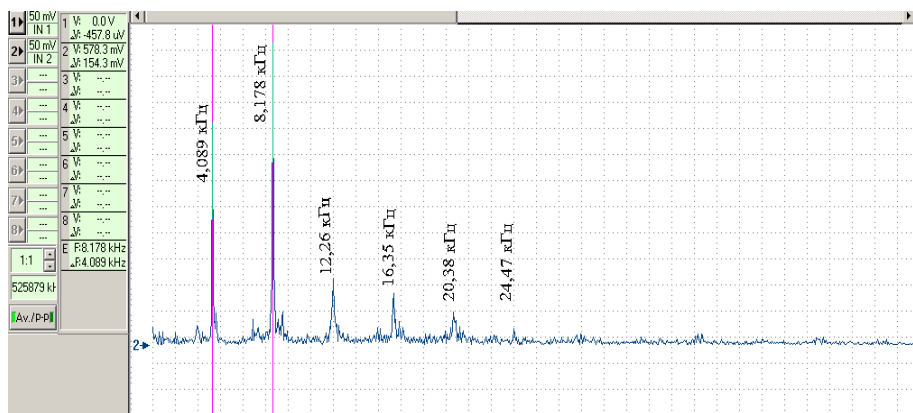


Рис. 4. Спектральні характеристики кавітаційних коливань тиску за конфузотно-дифузортним насадком ($\overline{\Delta p}=0,925$; $p_{\text{вх}}=10$ МПа)

енергетичних максимумів кавітаційні коливання досягають на режимі роботи генератора $\overline{\Delta p}=0,925$. Для цього режиму енергетичні максимуми відповідають частотам 4,089 кГц; 8,178 кГц; 12,26 кГц; 16,35 кГц; 20,38 кГц; 24,47 кГц. На рисунку приведено спектр насосних коливань тиску (1) і спектр кавітаційних

коливань тиску генератора (2). На спектрі насосних пульсацій спостерігаються два максимуми, які відповідають частотам 442 Гц і 1342 Гц. Дослідження кавітаційної стійкості конструкційних матеріалів, які поширені у гідравлічному машинобудуванні виконувалось на дискових мішенях, які мають діаметр 25 мм і товщину від 0,7 до 2,0 мм. Мішені розташовувались безпосередньо у кавітаційному потоці рідини. Попередньо мішені промивались і просушувались у сушильній шайбі на протязі 30 хв. при температурі 373 °К. Мішені зважувались не менше трьох разів на аналітичних вагах типу АДВ-200. Зважування проводилось до і після випробувань. Випробування проводились за температури 323 °К і робочого тиску 15 МПа. При проведенні експериментів витрата рідини через дросельні пристрої визначалася об'ємним способом за допомогою мірного бака об'ємом 2000 см³ (ціна поділки 0,1 л.). Час заповнення мірного бака визначався стрілочним секундоміром.

Критичний перепад тиску (початок кавітації) визначався за моментом стабілізації витрати рідини. Цей момент відповідає точці перегинання характеристики дросельного каналу. У якості параметрів оцінки гідроерозійної стійкості було вибрано час інкубаційного періоду і швидкість зміни маси матеріалу у період розвинутої кавітації [7]. На основі проведення експериментів побудовано гістограми, представлені на рис. 5, 6.

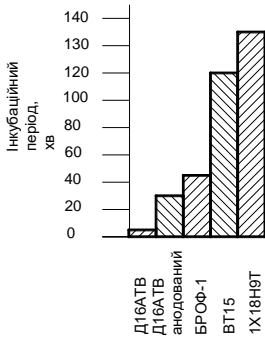


Рис. 5. Порівняльна діаграма інкубаційного періоду сплавів, що найбільш частіше застосовуються у гідромашинобудуванні

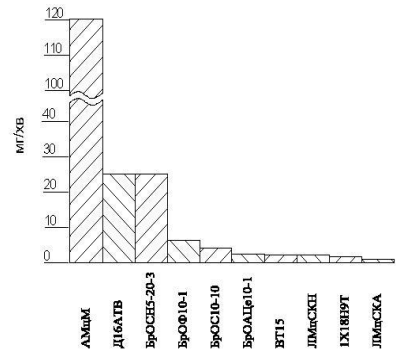


Рис. 6. Діаграма швидкості кавітаційної ерозії сплавів, що широко використовуються у машинобудуванні.

Для досліджуваних матеріалів отримані наступні емпіричні залежності швидкості зміни маси зразків від тиску:

$$\Delta m = a p_{ex}^n,$$

де Δm - зміна маси, мг/год; a - розмірний коефіцієнт, мг/МПа·год; n - показник степені; p_{ex} - абсолютний тиск на вході в насадок, МПа.

Для сплаву Д16АТВ: $a = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ мг/МПа} \cdot \text{год}$; $n = 4,08$; Для сплаву АМцМ: $a = 8,8 \cdot 10^{-4} \text{ мг/МПа} \cdot \text{год}$; $n = 4,04$.

Серед досліджуваних матеріалів найбільшою кавітаційну стійкість має нержавіюча сталь. Це пояснюється подовженим інкубаційним періодом і структурними особливостями даного сплаву (рис. 5).

Для оцінки впливу геометрії проточної частини дросельного пристрою на процес ерозії за постійної витрати рідини використовувалися насадки з однаковим мінімальним перерізом $d_r = 1,5$ мм. При цьому послідовно змінювались наступні параметри насадків: довжина дифузornoї частини насадка L_1 , відстань від зрізу сопла до мішені S , кут дифузору, кут конфузору.

На рис. 7 наведено експериментальну залежність кавітаційної ерозії (зміни маси мішені Δm) від відносної довжини $\bar{L} = \frac{L}{d_r}$. Експериментальні дані показують, що по мірі збільшення відносної довжини дифузornoї частини насадка зменшення маси мішені спостерігається, коли відносна довжина дифузора знаходиться у межах $\bar{L} = 6 \dots 11$. При збільшенні відносної довжини

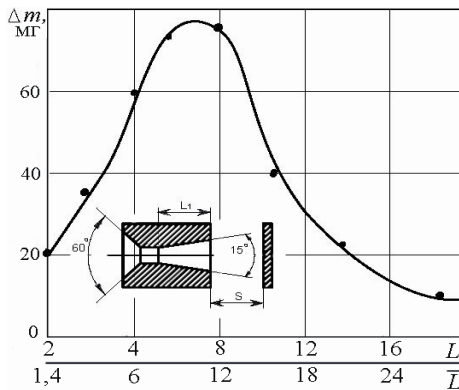


Рис. 7. Залежність зменшення маси мішені зі сплаву Д16 АТВ від довжини дифузornoї частини конфузorno-дифузornoго насадка

(рідина АМГ-10; $p_{\text{нас}} = 0,3$ МПа, $p_{\text{вх}} = 15$ МПа, $\bar{\Delta p} = 0,93$; $S = 11$ мм, $T_p = 323$ °К, $t = 15$ хв.)

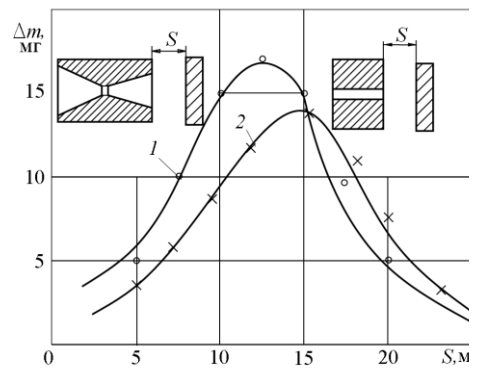


Рис. 8. Залежність зменшення маси мішені зі сплаву Д16 АТВ від відстані S між насадком і мішенню: 1 – конфузorno-дифузornoний насадок, $\alpha_{\text{конф}} = 60^\circ$, $\alpha_{\text{диф}} = 16^\circ$; 2 – циліндричний насадок ($p_{\text{нас}} = 0,3$ МПа, $p_{\text{вх}} = 15$ МПа, $\bar{\Delta p} = 0,93$; $T_p = 323$ °К; $t = 15$ хв.)

дифузornoї частини дросельного насадка більше $\bar{L} = 25$, інтенсивність кавітаційної ерозії стабілізується. Зниження інтенсивності кавітаційної ерозії слід пов'язати із зростанням гідравлічних втрат при збільшенні довжини дросельного каналу і формуванням епюри швидкостей, яка не сприяє виникненню вихорів у дифузornoї частині генератора, що зменшує інтенсивність вихрової кавітації.

У дослідженнях було використано дослідну камеру [10], у якій регулювалася відстань між соплом і мішенню. Таке регулювання використовувалося для визначення інтенсивності ерозії конструктивного матеріалу по довжині факелу кавітації. Встановлено три зони різного впливу кавітації за насадком на величину ерозії конструкційного матеріалу: ділянка наростаючих пошкоджень ерозії, ділянка максимуму ерозії (кінець кавітаційного факелу), ділянка за кавітаційною зоною із зменшенням інтенсивності ерозії.

Інтенсивність кавітаційної ерозії залежить від відстані до мішені (рис. 8) та довжини кавітаційного факела, довжина якого залежить від перепаду тиску на

дросельному пристрої. Встановлено, що максимальна ерозія Δm залежить від протитиску $\overline{\Delta p}$ і відстані S між кавітаційним генератором (насадком) і мішенню, представлені експериментальні залежності, що ілюструють вплив параметру S на інтенсивність кавітаційної ерозії.

Зміна кута дифузора призводить до зміни інтенсивності кавітаційної ерозії (рис.9). При кутах від 15° до 20° спостерігається максимальна кавітаційна ерозія. Подальше збільшення кута розкриття дифузора сприяє зменшенню процесу ерозії. При кутах розкриття дифузора, менших за 10° , зони ерозії локалізуються всередині каналу. За даними випробувань зміна маси винесеного матеріалу при кавітаційній ерозії збільшується із збільшенням діаметру дросельного насадка. Зі збільшенням діаметра сопла питомий тиск $p_{\text{вх}}$ залишається без змін, так як збільшується площа контакту струменю із мішенню. Таким чином, можна стверджувати, що кавітаційна ерозія однаково інтенсивно протікає як на великих, так і на малих насадках.

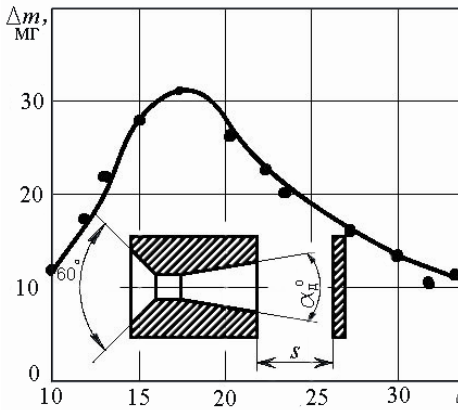


Рис. 9. Залежність зменшення маси мішені зі сплаву Д16 АТВ від кута розкриття дифузору конфузорно-дифузорового насадка (рідина АМГ-10; $p_{\text{нас}} = 0,3$ МПа, $p_{\text{вх}} = 15$ МПа, $\overline{\Delta p} = 0,93$; $S = 11$ мм, $T_r = 323$ °К; $t = 15$ хв.)

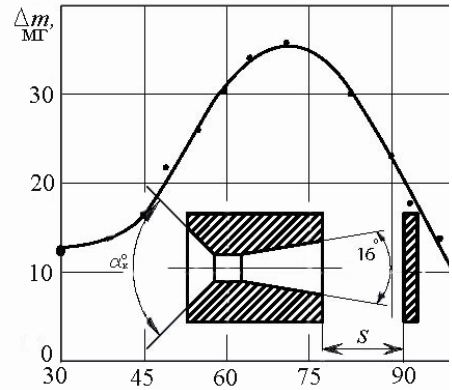


Рис. 10. Залежність зменшення маси мішені зі сплаву Д16 АТВ від кута конфузору конфузорно-дифузорового насадка (рідина АМГ-10; $p_{\text{нас}} = 0,3$ МПа, $p_{\text{вх}} = 15$ МПа, $\overline{\Delta p} = 0,93$; $S = 11$ мм, $T_r = 323$ °К; $t = 15$ хв.)

При дослідженні впливу кута конфузора на інтенсивність кавітаційної ерозії отримано залежність, яку наведено на рис. 10. Аналіз експериментальних даних свідчить про те, що на залежності спостерігається максимум при значеннях кута конфузора $60^\circ - 75^\circ$. При подальшому збільшенню кута кофузору, кавітаційна ерозія зменшується. Це явище можна пов'язати із впливом стиснення струменю на вході у горловину насадка. По мірі збільшення кута конфузора діаметр струменя у стиснутому перерізі стає меншим, що прискорює настання кавітації. Це призводить до збільшення гідравлічних втрат при розширенні струменю за стиснутим перерізом.

Висновки. Проведені дослідження показали високу ефективність дросельних кавітаційних генераторів коливань тиску.

Встановлено раціональні конфігурації кавітаційних генераторів коливань тиску, це є насадок Вентурі і конфузорно-дифузорний насадок, у них у кавітацію перетворюється від 62% до 89% енергії потоку рідини.

Досліджено особливості кавітаційних коливань тиску і встановлено ефективний режим кавітаційного генератора, який складає $\overline{\Delta p} = 0,90-0,95$.

Визначено конструкційні матеріали, які широко застосовуються у гідравлічному машинобудуванні, що мають високу кавітаційну стійкість БрОС10-10, БрОАЦе10-1, ВТ-15, ЛМЦСКН, 1Х18Н9Т, ЛМЦСКА. Зазначені матеріали використовуються для виготовлення блоків циліндрів аксіально-поршневих насосів, гідравлічної апаратури, напірних трубопроводів.

Визначено раціональну геометрію дросельного кавітаційного генератора для забезпечення максимальної ерозії: відносна довжина конфуз орної частини має складати $10^\circ - 12^\circ$, кут дифузору має складати $15^\circ - 18^\circ$, кут конфузору має бути в межах 75° , ефективна відстань від зрізу генератора – 12 мм.

Список літератури

1. Тарасенко Т.В. Кавітаційне витікання рідини через дросельний пристрій / Т.В. Тарасенко, В.М. Бадах - *Mechanics and Advanced Technologies* 3 (81), 2017. – С. 82 – 91.
2. Oba, R. and Miyakura, X. (1987), "Stochastic behavior (randomness) of acoustic pressure pulses in the near subcavitating range", *Intern. Journal*, pp. 581 – 586, DOI: <https://doi.org/10.1299/jsme1987.30.581>.
3. Themistoklis M. Cavitation erosion risk assessment for a marine propeller behind a Ro-Ro container vessel / M. Themistoklis, S. Soren, Tom J.C. van Terwisga // *Physics of Fluids*. Vol. 35, Issue 1, January 2023, 013342.
4. Joshi S. Sph modelling of a cavitation bubble collapse near an elasto-visco-plastic material / S. Joshi, J. P. Franc, G. Ghigliotti, M. Fivel, // *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. Vol. 125, April 2019. p, 420–439.
5. Magnotti M. Development and validation of the cavitation-induced erosion risk assessment tool / M. Magnotti, M. Battistoni, K. Saha, S. Som // *Transportation Engineering*. Vol. 2, December 2020. 100034.
6. Глазков М.М. Кавитация в жидкостных системах воздушных судов / М.М. Глазков, В.Г. Ланецкий, Н.Г. Макаренко и др. КИИГА, Киев, 1987. – 61 с.
7. Тарасенко Т.В. Дослідження локалізації і інтенсифікації кавітаційної ерозії при високонапірному дроселюванні рідини в гідравлічних пристроях / Т.В. Тарасенко, В.М. Бадах – *Проблеми тертя та зношування*. №2 (83) – 2019. С. 93 – 103.
8. Пилипенко В.В. Кавитационные колебания / В.В. Пилипенко – Київ, Наукова думка, 1989. – 316 с.
9. Глазков М.М. Математична модель розмаху кавітаційних пульсацій тиску / М.М. Глазков, В.Г. Ланецкий, Т.В. Тарасенко – Матеріали ІХ міжнародної науково-технічної конференції «Авіа - 2007» Том.2. НАУ, Київ. – С. 60 – 62.
10. Tarasenko, T.V., Badach, O., Puzik, K. (2013), *Krayushkina Functional units based on cavitation effects for hydraulic systems of vehicles*, *Science – Future of Lithuania: 16th Conference for Junior Researchers*, May 8, 2013, Vilnius, Lithuania, pp. 50-54.

T. V. TARASENKO, V. M. BADAKH, T. I. SIVASHENKO

RESEARCH OF CAVITATION EROSION OF STRUCTURAL MATERIALS

The results of experimental studies of the patterns of wearing of structural materials which are used in the hydraulic machine design engineering under the impact of hydrodynamic cavitation are presented. It is proposed to use a throttle device working in the mode of developed cavitation and being the throttle generator of cavitation pressure fluctuations, as a cavitation generator in studies of the cavitation resistance of structural materials. The rational type of throttling device for creating the liquid's cavitation flow has been established based on the analysis of flow and differential characteristics of throttling devices of various schemes, which work as throttle cavitation generators of pressure fluctuations. It is proposed to use the dimensionless pressure drop on the throttle cavitation generator of pressure fluctuations as a cavitation criterion. The peculiarities of generation of the cavitation pressure oscillations by a throttle generator have been studied. The regularity of the influence of the pressure drop on the throttle cavitation generator of pressure fluctuations (mode of operation) on the range of cavitation pressure fluctuations and the amount of cavitation wear has been established. The influence of the geometric parameters of the throttle cavitation generator of pressure fluctuations on the intensity of the cavitation erosion was determined. Analytical dependences of the rate of cavitation erosion of test samples of materials on the pressure at the inlet to the throttle cavitation generator of pressure fluctuations were determined.

The results of the experimental research can be used to create highly efficient throttle cavitation generators of pressure fluctuations for the study of the cavitation erosion, cleaning the parts from contamination, intensification of technological processes in the chemical, oil production and other industries. On the other hand, the obtained results make it possible to create the hydraulic units that will have the high resistance to the cavitation erosion.

Keywords: cavitation, cavitation erosion, cavern collapse, cavitation pressure fluctuations, throttle device.

Referenses

1. Tarasenko T.V. Kavitatsiine vytikannia ridyny cherez droselnyi prystrii / T.V. Tarasenko, V.M. Badakh - Mechanics and Advanced Technologies 3 (81), 2017. – S. 82 – 91.
2. Oba, R. and Miyakura, X. (1987), "Stochastic behavior (randonness) of acoustic pressure pulses in the near subcavitating range", Intern. Journal, pp. 581 – 586, DOI: <https://doi.org/10.1299/jsme1987.30.581>.
3. Themistoklis M. Cavitation erosion risk assessment for a marine propeller behind a Ro-Ro container vessel / M. Themistoklis, S. Soren, Tom J.C. van Terwisga // Physics of Fluids. Vol. 35, Issue 1, January 2023, 013342.
4. Joshi S. Sph modelling of a cavitation bubble collapse near an elasto-visco-plastic material / S. Joshi, J. P. Franc, G. Ghigliotti, M. Fivel, // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. Vol. 125, April 2019. p. 420–439.
5. Magnotti M. Development and validation of the cavitation-induced erosion risk assessment tool / M. Magnotti, M. Battistoni, K. Saha, S. Som // Transportation Engineering. Vol. 2, December 2020. 100034.
6. Hlazkov M.M. Kavytatsyia v zhydkostnykh systemakh vozdushnykh sudov / M.M. Hlazkov, V.H. Lanetskyi, N.H. Makarenko y dr. KYYHA, Kyev, 1987. – 61 s.
7. Tarasenko T.V. Doslidzhennia lokalizatsii i intensyfikatsii kavitatsiinoi erozii pry vysokonapirnomu droseliuvanni ridyny v hidravlichnykh prystroiakh / T.V. Tarasenko, V.M. Badakh – Problemy tertia ta znoshuvannia. №2 (83) – 2019. S. 93 – 103.
8. Pylypenko V.V. Kavytatsyonnye kolebanyia / V.V. Pylypenko – Kyiv, Naukova dumka, 1989. – 316 s.

9. Hlazkov M.M. Matematychna model rozmakhu kavitatsiinykh pulsatsii tysku / M.M. Hlazkov, V.H. Lanetskyi, T.V. Tarasenko – Materialy IKh mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Avia - 2007» Tom.2. NAU, Kyiv. – S. 60 – 62.

10. Tarasenko, T.V., Badach, O., Puzik, K. (2013), Krayushkina Functional units based on cavitation effects for hydraulic systems of vehicles, Science – Future of Lithuania: 16th Conference for Junior Researchers, May 8, 2013, Vilnius, Lithuania, pp. 50-54.

Тарасенко Тарас Валерійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри гідрогазових систем Національного авіаційного університету, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел/факс: +38 044 408 45 54, E-mail: nauggs18@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-8287-4873>

Бадах Валерій Миколайович — канд. техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри гідрогазових систем, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел/факс: +38 044 408 45 54, E-mail: bad44@ukr.net <https://orcid.org/0009-0009-2361-1123>

Сивашенко Терентій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри гідрогазових систем Національного авіаційного університету, проспект Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, +38(066)5610556, E-mail: terentii.syvashenko@npp.nau.edu.ua

Tarasenko Taras Valeriyovych - candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Hydrogas Systems of the National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, phone/fax: +38 044 408 45 54, E-mail: nauggs18@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-8287-4873>.

Badakh Valery Mykolayovych — candidate of technical of sciences, senior researcher, head of the Department of Hydrogas Systems, National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, phone/fax: +38 044 408 45 54, E-mail: bad44@ukr.net <https://orcid.org/0009-0009-2361-1123>

Syvashenko Terentiy Ivanovych – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Hydrogas Systems of the National Aviation University, 1 Lyubomyr Huzar Avenue, Kyiv, Ukraine, 03058, +38(066)5610556, E-mail: terentii.syvashenko@npp.nau.edu.ua