

УДК 62-82:535.528(045)

DOI: 10.18372/0370-2197.2(83).13697

Т. В. ТАРАСЕНКО, В. М. БАДАХ

*Національний авіаційний університет, Київ*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОКАЛІЗАЦІЇ І ІНТЕНСИВНОСТІ КАВІТАЦІЙНОЇ ЕРОЗІЇ ПРИ ВИСОКОНАПІРНОМУ ДРОСЕЛЮВАННІ РІДИНИ В ГІДРАВЛІЧНИХ ПРИСТРОЯХ

*Дослідження проводилися з метою підвищення ресурсу елементів апаратури авіаційних гідросистем на основі обґрунтування заходів щодо зниження їх кавітаційної ерозії. Надзвичайно важливим і недостатньо вивченим фактором є вплив на кавітаційну ерозію умов дроселювання потоків в гідроагрегатах і пристроях, виникнення механізму кавітаційної ерозії. Представлено результати дослідження кавітаційної ерозії різних металів, які широко застосовуються у авіаційному гідроприводі. Приведено методичку визначення стійкості металів авіаційного гідроприводу до кавітаційної ерозії. Визначено сплави, які мають підвищену стійкість до кавітаційної ерозії. Визначено механізм руйнування поверхні конструкційного матеріалу кавітаційними кавернами. Досліджено фактори які впливають на інтенсивність кавітаційної ерозії: умови дроселювання робочої рідини, розташування дослідних зразків відносно сопла. Запропоновано заходи зі зменшення впливу кавітаційної ерозії на конструкційні елементи гідравлічних агрегатів при їх роботі. Визначено раціональні геометричні характеристики генераторів гідродинамічної кавітації, які використовуються для дослідження кавітаційної ерозії конструкційних матеріалів: кут розкриття дифузору, довжини дифузornoї частини.*

**Ключові слова:** кавітація, кавітаційна ерозія, дроселювання, критичний перепад тиску, каверна, конструкційні матеріали.

**Вступ.** Сучасні системи авіаційного гідроприводу високого тиску вимушено експлуатуються в режимах з розвинутою кавітацією потоків робочої рідини, що створює небезпеку руйнування деталей типу дроселів, розподільників, золотників і клапанів в результаті ерозії металу. В цих умовах забезпечення довговічності виробу багато в чому визначається вибором матеріалу і урахуванням впливу режимів дроселювання потоків на локалізацію кавітаційної ерозії. У гідроприводах об'ємного типу кавітація має свої особливості, що обумовлено високою в'язкістю і значним вмісту повітря робочого середовища [1], а також високими робочими тисками. Надзвичайно важливим і недостатньо вивченим фактором є вплив на кавітаційну ерозію умов дроселювання потоків в гідроагрегатах і пристроях, виникнення механізму кавітаційної ерозії [2].

**Постановка проблеми.** Дослідження проводилися з метою підвищення ресурсу елементів апаратури авіаційних гідросистем на основі обґрунтування заходів щодо зниження їх кавітаційної ерозії. Основними завданнями дослідження є:

- дослідження впливу параметрів дроселювання і властивостей робочої рідини на кавітаційну стійкість металів і сплавів, що застосовуються для виготовлення гідроапаратури авіаційних гідросистем;
- розробка рекомендацій щодо локалізації ерозії в циліндричних і дифузornoї каналів елементів гідроапаратури.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Не дивлячись на велику кількість робіт з вивчення механізмів кавітаційної ерозії [2 – 9] та ін., питання вивчено не повністю. Дослідження цих процесів ускладнюється їх швидкоплинністю (поря-

док 10-6 с), а також тією обставиною, що кавітаційна ерозія протікає у малих об'ємах. Колапс каверни розпочинається із розмірів 10-2 мм. Додаткові ускладнення створюють високі локальні тиски і підвищена температура. Більшість дослідників відмічають наявність двох основних видів зношування металів: механізм ударної хвилі і механізм кумулятивних мікроструменів.

**Мета роботи і постановка задачі.** При роботі гідравлічної апаратури з високо напірним дроселюванням робочої рідини, а також, при використанні кавітаційних явищ для очищення поверхні від забруднень виникає загроза руйнування самих поверхонь. Тому актуальним є вирішення наступних питань:

- Як довго може знаходитись робоча поверхня у кавітаційному полі?
- Який конструкційний матеріал найбільш стійкий до кавітаційної ерозії?
- Які фактори впливають на швидкість розповсюдження кавітаційної ерозії?

Щоб відповісти на ці запитання були проведені дослідження, результати яких викладено нижче.

У якості об'єктів дослідження використані експериментальні пластини типу А із різних сплавів, що виконані у вигляді шайб із зовнішнім діаметром 25 мм, внутрішнім діаметром 4 мм (рис. 1) і експериментальні пластинки типу Б без отвору з товщиною від 0,7 до 2,0 мм (рис. 2).

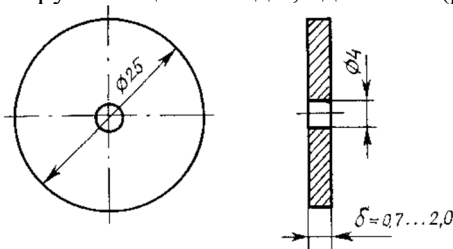


Рис. 1. Експериментальна шайба типу А для дослідження кавітаційної ерозії

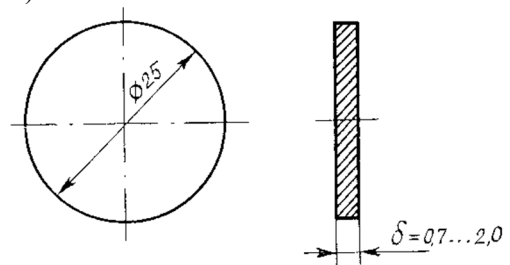


Рис. 2. Експериментальна шайба типу Б для дослідження кавітаційної ерозії

Для проведення експериментальних досліджень процесів ерозії конструктивних матеріалів використовувалися рідини АМГ-10 і ТС-1. Вибір цих рідин обумовлено тим, що у них в'язкість змінюється в широких межах. Ця обставина дозволяє при мінімальній кількості експериментів отримати інформацію про інтенсивність ерозії для широкого діапазону значень в'язкості. У якості газу, що насичував рідину, використовувалося повітря.

Для дослідження впливу геометричних розмірів і форми дросельних пристроїв на кавітаційну ерозію використовувались різні насадки, виготовлені із алюмінієвого сплаву Д16АТВ. На рис. 3 наведено схеми і параметри дросельних пристроїв, що використовуються для досліджень.

Використано поетапний підхід у вивченні проблеми. Це дозволило за умов, максимально наближених до реально існуючих, вибрати режим, при якому кавітаційні руйнування будуть найбільшими. Використання цього методу сприяє детальному вивченню цієї проблеми з позиції виключення шкідливих наслідків кавітаційної ерозії.

Під час проведення експериментів послідовно виконувались наступні операції: підготування взірцевих шайб для досліджень, виконання експерименту, обробка отриманих результатів, статистичний аналіз отриманих результатів.

Підготування взірцевих шайб для досліджень виконувалася наступним чином:

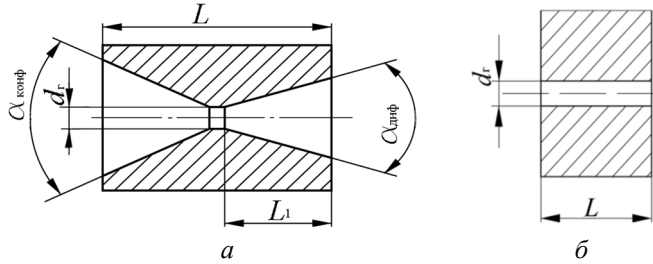


Рис. 3. Геометричні характеристики дросельних пристроїв: *a* – конфузорно-дифузорний насадок ( $L = 46$  мм;  $L_1 = 6 \dots 20$  мм;  $\alpha_{\text{конф}} = 60^\circ$ ;  $\alpha_{\text{диф}} = 11^\circ$ ;  $d_r = 1,5$  мм); *б* – циліндричний насадок (насадок Вентури) ( $L = 4,5 \dots 30$  мм;  $d_r = 1,5$  мм)

– для видалення бруду і оксидів взірцеві шайби (мішені) ретельно промивалися ацетоном і висушувалися у сушильній шафі протягом 30 хв. за температурою  $373$  °К;

– не менше трьох разів мішені зважувалися на аналітичних вагах типу АДВ-200.

Зважування виконувалося до і після випробування. Тривалість дії кавітаційного струменю на експериментальні шайби із сплаву Д16АТВ складала 15 хв. Тривалість випробувань контролювалася за допомогою двострілочного секундоміру з точністю вимірювання  $0,2$  с.

Всі випробування проводилися 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  $2000$  см<sup>3</sup> (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. Конструкція камери дозволяла розміщувати взірцеву шайбу на різних відстанях від сопла. Область максимальної ерозії визначалася за графікам виносу маси матеріалу в залежності від таких параметрів, як протитиск, дистанція від мішені до насадка.

Для оцінки впливу геометрії кавітаційних пристроїв на процес ерозії за постійної витраті рідини використовувалися насадки з однаковим мінімальним перерізом  $d_r = 1,5$  мм. При цьому послідовно змінювалися наступні параметри насадків: довжина дифузорної частини насадка  $L_1$ , відстань від зрізу сопла до мішені  $S$ , тиск живлення  $p_{\text{вх}}$  та інші. Експериментально визначалися залежності виносу маси від експлуатаційних факторів, геометричних параметрів, властивостей робочої рідини, розташування мішені по відношенню до насадка і потоку.

**Результати дослідження і їх аналіз.** Каверни можуть змикатись симетрично і асиметрично, оскільки колапс, на відміну від розширення границь, процес нестійкий. Спостереження показали, що поблизу стінки каверна у процесі деформації набуває тороїдальної форми із наступним утворенням у центрі тороїду мікроструменю. Доказано, що мікрострумєнь має високу швидкість і при співударянні зі стінкою може викликати її механічні руйнування. Роботи [7-10] та ін. вказують на те, що, не дивлячись на наявність як ударних хвиль, так і мікрострумєнів, великий внесок у руйнування конструкційного матеріалу вносять ударні хвилі. Експериментальним способом нами на основі непрямих вимірювань встановлено, що тиск у центрі каверни, що зімкнулася, становить декілька тисяч атмосфер. Це значно більше за границю міцності більшості матеріалів.

Наприклад, сталь 45 у нормальному стані має границю міцності 610 МПа, а у загартованому стані – 800 МПа.

Характер кавітаційних руйнувань залежить від пластичності металу. У пластичних металах (наприклад, для сплаву Д16АТВ) деформація призводить до виникнення кратерів – поверхня зношення має вигляд «місячного» ландшафту (рис. 4).

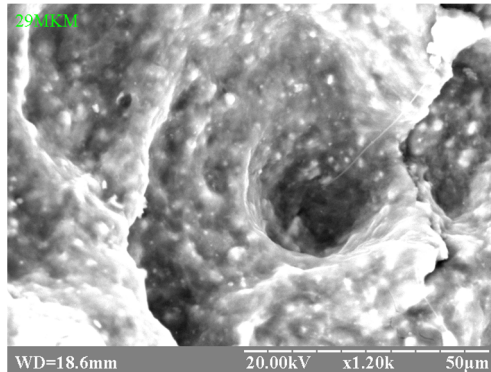


Рис. 4. Кавітаційна ерозія поверхонь мішеней, виготовлених із сплаву Д16АТВ, 1200-кратне збільшення; ( $p_{ex} = 5$  МПа;  $\overline{\Delta p} = 0,93$ ;  $T_p = 323$  К;  $t = 15$  хв.);

Подальші удари руйнують кільцеві кратери. Метал руйнується по границях зерен, оскільки вони опираються пластичній течії. Крихкі метали під дією знакозмінних напружень пошкоджуються внаслідок виникнення тріщин. Механізм пластичного руйнування характерний для металів, що мають твердість, не більшу від 400 одиниць за шкалою Бринеля. Локальні температури настільки великі, що метал плавиться і руйнується. Колапс каверн у рівній мірі небезпечний як для твердих тіл, так і для робочої рідини. Високі локальні тиски і температури призводять до деструкції робочої рідини. Безпосередня дія температури і тиску руйнує присадки, що поліпшують індекс в'язкості і змащуючу властивість рідини. Вплив кавітації на властивості рідин полягає в тім, що кавітація підсилює деградацію окислення, нітрацію і утворення коксу. У гідравлічних рідинах на нафтовій основі кавітація викликає місцеве пригоряння, відоме як «дизельний ефект» [1].

Ерозія агрегатів гідроприводу відрізняється від ерозії гребних гвинтів або підводних крил і водяних турбін тим, що пов'язана, з одного боку, із більш високими робочими параметрами і, з іншої боку, такими властивостями робочих рідин, як їх висока в'язкість і значний вміст повітря.

В агрегатах гідроприводу ерозія найчастіше всього породжується кавернами, що переміщуються (рис. 5). Каверни виникають і руйнуються по мірі проходження потоком зони низького і відновленого тиску. Каверни у дросельних каналах руйнуються відразу ж за зоною найбільшого стискання потоку, де тиск починає відновлюватись. Кавітаційна ерозія локалізується у обмеженій зоні малої протяжності.

У протилежність цьому вихрова кавітація породжується струменевою течією. Вона відрізняється більшою протяжністю, оскільки струмінь сприяє росту і колапсу каверн вздовж усього струменю. Ерозійний ефект набагато збільшиться, якщо кавітаційні зони першого і другого виду існують одночасно. У першій зоні генеруються первинні каверни. А потім процес підсилюється у результаті виникнення вихрових каверн [13].

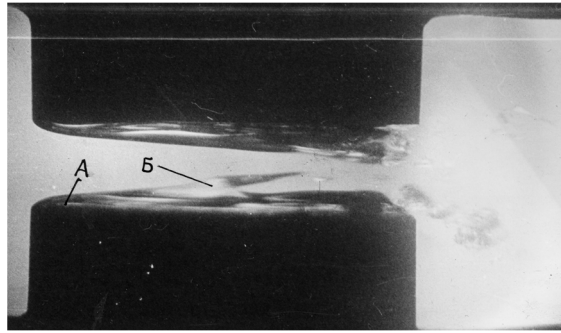


Рис. 5. Розташування каверн у дросельному пристрої типу насадок Вентурі;  
 $\overline{\Delta p} = 0,72$ ; *A* – приєднана каверна; *B* – каверна, що переміщується

Значний інтерес представляють собою порівняльні дослідження кавітаційної стійкості різних металів і сплавів, що використовують у гідромашинобудуванні. При проведенні випробувань сплавів, що широко використовуються у гідромашинобудуванні, було обрано наступні умови кавітаційного витікання рідини АМГ-10: температура робочої рідини – 323 К; тиск на вході у випробувальний пристрій – 15 МПа; тиск на виході із випробувального пристрою – 1,04 МПа; час випробування – від 15 до 6 годин; швидкість витікання рідини – 180 м/с. У якості параметрів оцінки гідроерозійної стійкості було вибрано час інкубаційного періоду і швидкість зміни маси матеріалу у період розвинутої кавітації. На основі проведення експериментів побудовано гістограми, представлені на рис. 6, 7.

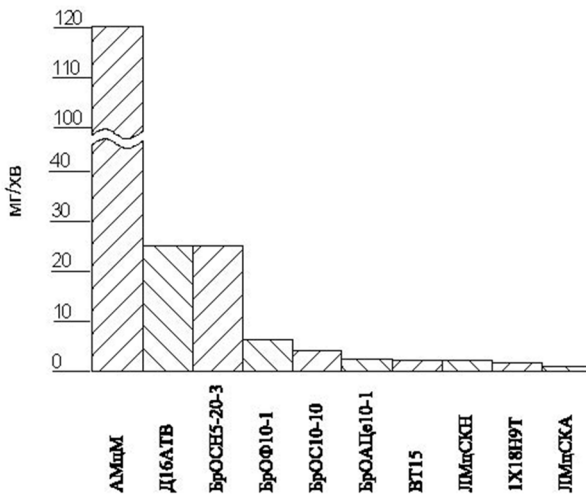


Рис. 6. Діаграма швидкості кавітаційної ерозії для сплавів, що широко використовуються у гідромашинобудуванні

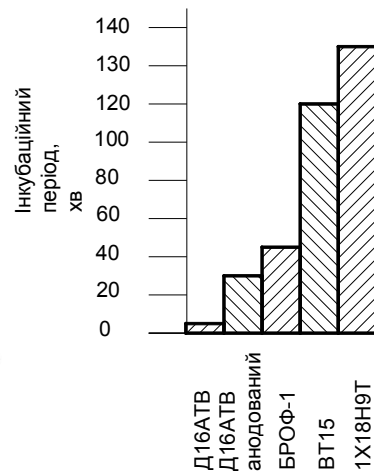


Рис. 7. Порівняльна діаграма інкубаційного періоду сплавів, що найбільш частіше застосовуються у гідромашинобудуванні

Для досліджуваних матеріалів отримані наступні емпіричні залежності швидкості зміни маси зразків від тиску:  $\Delta m = a p_{ex}^n$ , де  $\Delta m$  – зміна маси, мг/год;  $a$  – розмірний коефіцієнт, мг/МПа·год;  $n$  – показник степені;  $p_{ex}$  – абсолютний тиск на вході в насадок, МПа.

Для сплава Д16АТВ:  $a = 2,2 \cdot 10^{-4}$  мг/МПа·год;  $n = 4,08$ ;

Для сплава АМцМ:  $a = 8,8 \cdot 10^{-4}$  мг/МПа·год;  $n = 4,04$ .

Аналіз отриманих результатів показує, що серед групи досліджуваних матеріалів найбільшою гідроерозійну стійкість має нержавіюча сталь, латуні і бронзи. Це пояснюється подовженням інкубаційним періодом і структурними особливостями даного сплаву (рис. 6).

Було проведено дослідження щодо оцінки впливу геометрії дросельного каналу кавітаційного генератора на інтенсивність кавітаційної ерозії. З цією метою було виготовлено декілька типів кавітаційних генераторів і проведено цикл спеціальних випробувань на експериментальній установці для з'ясування впливу на кавітаційну ерозію конструкційних матеріалів наступних параметрів: довжини і діаметру дросельних каналів генераторів, дистанції між мішенню і кавітаційним генератором, профілем проточної частини генератора.

На рис. 8 наведено експериментальну залежність кавітаційної ерозії (винесеної маси  $\Delta m$ ) 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  $\bar{L} = 6 \dots 11$ .

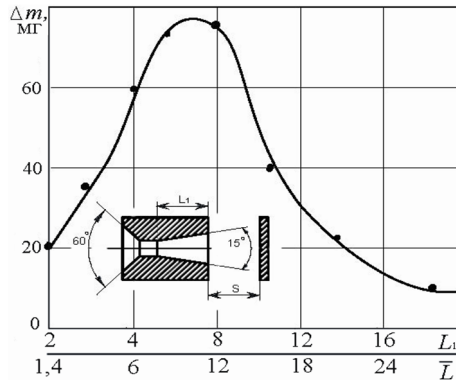


Рис. 8. Залежність зменшення маси мішені зі сплаву Д16 АТВ від довжини дифузornoї частини конфузorno-дифузornoного насадка (рідина АМГ-10;  $p_{\text{нас}} = 0,3$  МПа,

$$p_{\text{ex}} = 15 \text{ МПа}, \bar{\Delta p} = 0,93; S = 11 \text{ мм}, T_p = 323 \text{ К}, t = 15 \text{ хв}$$

При збільшенні відносної довжини дифузornoї частини 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.

Зміна діаметру насадка і кута дифузора призводить до зміни інтенсивності кавітаційної ерозії. За даними випробувань зміна маси винесеного матеріалу при кавітаційній ерозії збільшується із збільшенням діаметру насадка. Із 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.

Але збільшення діаметру сопла при постійному тиску живлення сприяє виносу більшого об'єму матеріалу за рахунок збільшення поверхні ерозії і розмірів струменів. Збільшення виносу маси пояснюється також тим, що у струмені бі-

льшого діаметру ріст бульбашок обмежено в меншій мірі, ніж у струменя меншого діаметру, що викликає більш інтенсивне руйнування поверхні. При збільшенні діаметру насадка і довжини дифузора відстань, при якій спостерігається максимум ерозії, стає більшою.

Отримані результати дослідження процесів ерозії використовувалися в подальшому для визначення режимів роботи пристроїв для очищення форсунок двигунів внутрішнього згоряння від нагару.

На рис. 9 наведено залежність кавітаційного виносу маси мішені для різних кутів дифузора конфузорно-дифузороного насадка. При кутах від  $15^\circ$  до  $20^\circ$  спостерігається максимальна кавітаційна ерозія. Подальше збільшення кута розкриття дифузора сприяє зменшенню процесу ерозії. При кутах розкриття дифузора, менших за  $10^\circ$ , зони ерозії локалізуються всередині каналу.

При дослідженні впливу кута конфузора на інтенсивність кавітаційної ерозії отримані 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 кофузора кавітаційна ерозія зменшується. Це явище можна пов'язати із впливом стиснення струменю на вході у горловину насадка. По мірі збільшення кута конфузору діаметр струменя у стиснутому перерізі стає меншим, що прискорює настання кавітаційної кризи. Це призводить до збільшення гідравлічних втрат при розширенні струменю за стиснутим перерізом.

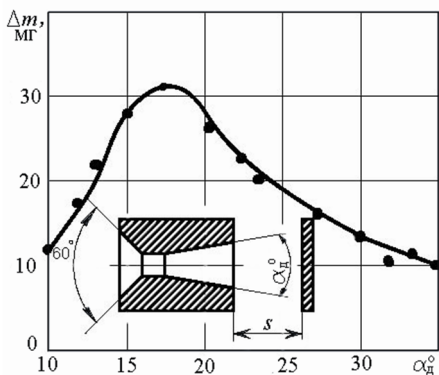


Рис. 9. Залежність зменшення маси мішені зі сплаву Д16 АТВ від кута розкриття дифузору конфузорно-дифузороного насадка (рідина

АМГ-10;  $p_{\text{нас}} = 0,3$  МПа,

$p_{\text{ex}} = 15$  МПа,  $\overline{\Delta p} = 0,93$ ;  $S = 11$  мм,

$T_p = 323$  К;  $t = 15$  хв.)

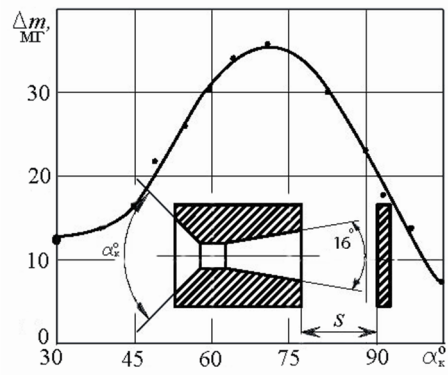


Рис. 10. Залежність зменшення маси мішені зі сплаву Д16 АТВ від кута конфузору конфузорно-дифузороного насадка (рідина АМГ-10;  $p_{\text{нас}} = 0,3$  МПа,

$p_{\text{ex}} = 15$  МПа МПа,  $\overline{\Delta p} = 0,93$ ;  $S = 11$  мм,

$T_p = 323$  К;  $t = 15$  хв.)

У дослідженнях було використано дослідну камеру, 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. 11). Встановлено, що максимальна ерозія  $\Delta m$  залежить від протитиску  $\overline{\Delta p}$  і відстані

$S$  між кавітаційним генератором (насадком) і мішенню. На рис. 11 наведено експериментальні залежності, що ілюструють вплив параметру  $S$  на інтенсивність кавітаційної ерозії.

Збільшення безрозмірного протитиску  $\overline{\Delta p}$  вище оптимального приводить до зниження інтенсивності ерозії із-за зменшення розвитку зони кавітації (рис. 12). Зі збільшенням відстані  $S$  інтенсивність ерозії зменшується, так як ударний тиск струменя падає і мішень виходить за границю кавітаційного факела.

Встановлені вище закономірності необхідно враховувати для попередження кавітаційних пошкоджень елементів гідроприводу шляхом створення більш високих протитисків у порівнянні з критичними у зонах дреселювання потоків.

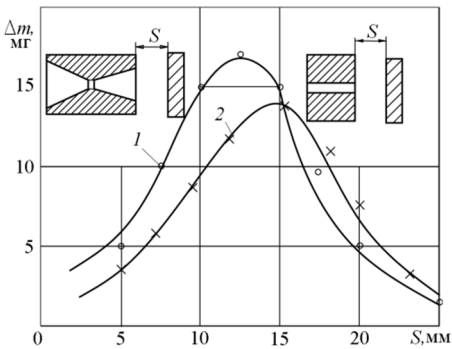


Рис. 11. Залежність зменшення маси мішені зі сплаву Д16 АТВ від відстані  $S$  між насадком і мішенню: 1 – конфузно-дифузорний насадок,  $\alpha_{\text{конф}} = 60^\circ$ ,  $\alpha_{\text{диф}} = 16^\circ$ ; 2 – циліндричний насадок  
( $p_{\text{нас}} = 0,3$  МПа,  $p_{\text{вх}} = 15$  МПа,  $\overline{\Delta p} = 0,93$ ;  
 $T_p = 323$  К;  $t = 15$  хв.)

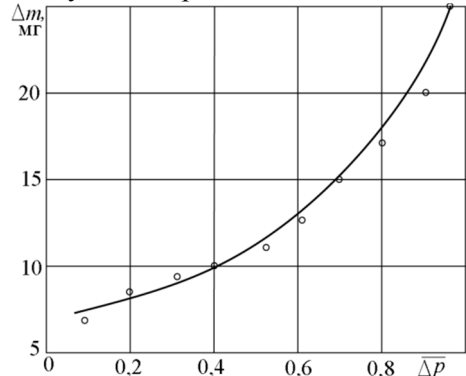


Рис. 12. Залежність зменшення маси мішені зі сплаву Д16 АТВ від безрозмірного перепаду тиску  $\overline{\Delta p}$  ( $p_{\text{нас}} = 0,3$  МПа,  $p_{\text{вх}} = 15$  МПа;  $T_p = 323$  К;  $t = 15$  хв.)

Експериментально встановлено, що на інтенсивність кавітаційної ерозії впливає також напрям розташування мішені відносно струменя. Цей факт важливий для розробки технологій очищення деталей від забруднень. На рис. 13 представлено залежність зміни маси від кута встановлення мішені  $\theta$ . Встановлено, що при збільшенні кута встановлення мішені відносно кавітаційного струменя спостерігається збільшення інтенсивності кавітаційної ерозії.

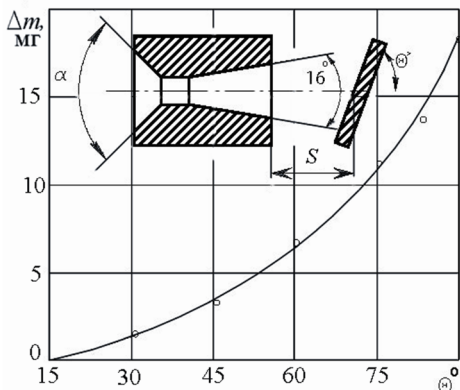


Рис. 13. Залежність зменшення маси мішені зі сплаву Д16 АТВ від кута  $\theta$  встановлення мішені по відношенню до струменю рідини АМГ-10 при витіканні через конфузно-дифузорний насадок  
( $p_{\text{вх}} = 15$  МПа,  $\overline{\Delta p} = 0,93$ ;  $T_p = 323$  К;  
 $t = 15$  хв.;  $p_{\text{нас}} = 0,3$  МПа;  
 $d_r = 1,5$  мм;  $S = 15$  мм.)



Максимальна інтенсивність кавітаційної ерозії спостерігається у тому випадку, коли струмінь контактує із мішенню під прямим кутом.

В реальних пристроях гідроприводу та технологічних пристроях кут між струменем і поверхнею може бути довільним. Тому отримані данні не обхідно враховувати при розробці технологічних пристроїв для очищення гідроагрегатів від забруднень.

### Висновки:

Проведені експериментальні дослідження ерозії конструкційних матеріалів показують, що для виготовлення елементів гідравлічної автоматики слід використовувати наступні метали: БрОС10-10, БрОАЦе10-1, ВТ-15, ЛМцСКН, 1Х18Н9Т, ЛМцСКА, так як ці матеріали мають високу ерозійну стійкість.

Для запобігання кавітаційної ерозії поверхонь, що очищуються у кавітаційному полі, необхідно, щоб час очищення не перевищував інкубаційний період кавітаційної ерозії матеріалу. Встановлено, що для сплаву ВТ-15 інкубаційний період становить 120 хв, для нержавіючої сталі – 140 хв.

Визначено ефективну відстань локалізації кавітаційної ерозії (12 мм для конфузотно-дифузрних насадків і 15 мм для насадків Вентурі), при якій спостерігається максимальною кавітаційна ерозія конструкційних матеріалів.

Встановлено оптимальну відносну довжину  $\bar{L}$  дифузрної частини кавітаційного генератора ( $\bar{L} = 6...12$ ), при якій виникає максимум кавітаційної ерозії. Встановлено також оптимальні кути дифузору і конфузору конфузртно-дифузрного насадка, при яких спостерігається максимальна кавітаційна ерозія конструкційного матеріалу. Кут розкриття дифузору повинен бути в межах  $15^\circ...20^\circ$ , кут конфузору – в межах  $60^\circ...75^\circ$ .

Визначено вплив на величину кавітаційної ерозії конструкційного матеріалу, кута встановлення мішені відносно осі симетрії генератора; максимальна інтенсивність кавітаційної ерозії має місце, коли кут нахилу складає  $90^\circ$ .

### Список літератури

1. Глазков М.М. Кавитация в жидкостных системах воздушных судов / М.М. Глазков, В.Г. Ланецкий, Н.Г. Макаренко, И.П. Челюканов. – К.: КИИГА, 1987. – 62 с.
2. Друздинский Ю.М. Кавитационная эрозия в условиях гидростатического давления // Акустический вестник №1, 2006. – С. 34 – 39.
3. Спринджер Дж. С. Эрозия при воздействии капель жидкости / Дж. С. Спринджер. – М.: Машиностроение, 1981. – 200 с.
4. Тихомиров Р.А. Гидрорезание неметаллических материалов / Р.А. Тихомиров, В.С. Гуенко – К.: Техника, 1984. – 150 с.
5. Пилипенко С.В. Локализация зон кавитационной эрозии при контакте кавитационной струи с образцом / С.В. Пилипенко, В.Н. Куринков // Надежность и долговечность гидрогазовых систем воздушных судов. – К.: КИИГА, 1987. – С. 101–105.
6. Присс К. Эрозия / К. Присс. – М.: Мир, 1982. – 464 с.
7. Богачев И.Н. Кавитационное разрушение и кавитационностойкие сплавы / И.Н. Богачев. – М.: Металлургия, 1972. – 189 с.
8. Глазков М.М. Эрозионные разрушения деталей гидросистем ВС / М.М. Глазков, П.А. Андзембе // Проблемы динамики пневмогидравлических и топливных систем ЛА: сб. тез. докл. НТК. – Куйбышев, 1990. – С. 133–114.
9. Глазков М.М. Эрозионные разрушения топливных насосов шестеренного типа / М.М. Глазков, С.В. Пилипенко // Проектирование, производство и эксплуатация систем гидропривода: сб. тез. докл. I ВНТК. 11 – 12 июня 1991г. – Киев. 1991. – С. 26–27.

10. Глазков М.М. эрозия алюминиевых сплавов в среде авиационных масел и топлив / М.М. Глазков, С.В. Пилипенко, В.Н.Куринков // Исследование процессов подготовки, применения и контроля качества авиаГСМ и спецжидкостей. – К.: КИИГА, 1988. – С. 6–12.

11. Кувшинов Г.И. Акустическая кавитация у твердых поверхностей / Г.И. Кувшинов, П.П. Прохоренко: под общ. ред. В.К. Кедринского. – Мн.: Наука і техніка, 1990. – 112 с.

12. Глазков М.М. Модель кавитационной зоны дроссельных устройств гидропривода / М.М. Глазков, С.В. Пилипенко, Н.Г. Макаренко // Гидравлика и гидропривод машин, автоматов и промышленных роботов в машиностроении: сборн. научн. трудов 20–22 сентября – Киев, 1990. – С. 24–25.

13. Глазков М.М. Структура кавітаційних струменів у дросельних пристроях гідравлічних систем / М.М. Глазков, М.Г. Макаренко, Т.В. Тарасенко // Всеукраїнський науково-технічний журнал Промислова гідравліка і пневматика. – 2008, №1 (19). – С. 31–35.

14. Тарасенко Т.В. Бадах В.М. Кавітаційне витікання рідини через дросельний пристрій // Mechanics and Advanced Technologies 3 (81). – 2017. – С. 82-91.

Стаття надійшла до редакції 30.05.2019.

*Т. В. ТАРАСЕНКО, В.М. БАДАХ*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ИНТЕНСИВНОСТИ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИИ ПРИ ВЫСОКОНАПОРНЫХ ДРОССЕЛИРОВАНИИ ЖИДКОСТИ В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ**

Представлены результаты исследования кавитационной эрозии различных металлов, которые широко применяются в авиационном гидроприводе. Приведена методика определения устойчивости металлов авиационного гидропривода к кавитационной эрозии. Определены сплавы, имеющие повышенную устойчивость к кавитационной эрозии. Исследованы факторы влияющие на интенсивность кавитационной эрозии. Предложены меры по уменьшению влияния кавитационной эрозии на конструкционные элементы гидравлических агрегатов при их работе.

**Ключевые слова:** кавитация, кавитационная эрозия, дросселирования, критический перепад давления, каверна, конструкционные материалы.

**Тарасенко Тарас Валерійович** – кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедри гідрогазових систем Національного авіаційного університету. Напрямок наукової діяльності – кавітація та кавітаційні технології.

**Бадах Валерій Миколайович** - кандтдат техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри гідрогазових систем Національного авіаційного університету. Напрямок наукової діяльності – струменеві техніка, струмені високого тиску.

T. V. TARASENKO, V. M. BADACH

## INVESTIGATION OF LOCALIZATION AND INTENSITY OF CALCULATIVE EROSION IN HIGH-SPEED DROSELIDATION OF LIQUID IN HYDROCONTROL DEVICES

The research was carried out with the purpose of increasing the resource of aircraft elements of aviation hydrosystems on the basis of substantiation of measures to reduce their cavitation erosion. The influence on the cavitation erosion of the conditions of throttling of flows in hydrounits and devices, the emergence of the mechanism of cavitation erosion is extremely important and insufficiently studied factor. There are presented results of the study of cavitation erosion of various metals, which are widely used in aviation hydro drive. It is hereby given the method of determining the stability of aviation hydraulic drives to cavitation erosion. There have been determined alloys with increased resistance to cavitation erosion. It is determined the mechanism of destruction of the structural material surface by cavitation cavities. There are investigated the factors influencing the intensity of cavitation erosion: conditions of throttling of a working fluid, location of experimental samples relative to the nozzle. There are proposed measures to reduce the effect of cavitation erosion on structural elements of hydraulic aggregates during their work. There are determined rational geometric characteristics of hydrodynamic cavitation generators used for the study of cavitation erosion of structural materials: the angle of diffusion, the length of the diffuse part.

**Key words:** cavitation, cavitation erosion, throttling, critical overpowering pressure, cavity, structural materials.

### References

1. Glazkov M.M. Cavitation in aircraft fluid systems / M.M. Glazkov, V.G. Lanetsky, N.G. Makarenko, I.P. Chelyukanov. - K.: KIIGA, 1987. - 62 p.
2. Druzdinsky Yu.M. Cavitation erosion under hydrostatic pressure conditions // Acoustic Bulletin №1, 2006. - P. 34 - 39.
3. Springer JS. Erosion when exposed to liquid droplets / JS Springer. - M.: Mashinostroenie, 1981. - 200 p.
4. Tikhomirov R.A. Hydrocutting of non-metallic materials / R.A. Tikhomirov, V.S. Guenko - K.: Technique, 1984. - 150 p.
5. Pilipenko S.V. Localization of cavitation erosion zones when a cavitation jet contacts a sample / S.V. Pilipenko, V.N. Kurinkov // Reliability and durability of the hydro-gas systems of aircraft. - K.: KIIGA, 1987. - P. 101-105.
6. Priss K. Erosion / K. Priss. - M.: Mir, 1982. - 464 p.
7. Bogachev I.N. Cavitation destruction and cavitation-resistant alloys / I.N. Bogachev. - M.: Metallurgy, 1972. - 189 p.
8. Glazkov, M.M. Erosive destruction of parts of hydraulic systems VS / MM Glazkov, P.A. Andzembe // Problems in the dynamics of pneumohydraulic and fuel systems of aircraft: Sat. mes. report NTK. - Kuibyshev, 1990. - P. 133-114.
9. Glazkov, M.M. Erosive destruction of gear type fuel pumps / MM. Glazkov, S.V. Pilipenko // Design, production and operation of hydraulic drive systems: Sat. mes. report I VNTK. June 11 - 12, 1991 - Kiev. 1991. p. 26-27.
10. Glazkov M.M. erosion of aluminum alloys in the environment of aviation oils and fuels / M.M. Glazkov, S.V. Pilipenko, V.N. Kurinkov // Investigation of the processes of preparation, application and quality control of aviation fuel and special liquids. - K.: KIIGA, 1988. - P. 6-12.
11. Kuvshinov G.I. Acoustic cavitation on hard surfaces / GI. Kuvshinov, P.P. Prokhorenko: under total. ed. VC. Kedrinsky. - Minsk: Science and Technology, 1990. - 112 p.
12. Glazkov, M.M. Model of the cavitation zone of the throttle devices of the hydraulic drive / MM. Glazkov, S.V. Pilipenko, N.G. Makarenko // Hydraulics and hydraulic drive of machines, automata and industrial robots in mechanical engineering: assembled. scientific Proceedings September 20-22 - Kiev, 1990. - p. 24-25.
13. Glazkov, M.M. Structure of cavitation struts in drognel attachments of hydraulic systems / MM. Glazkov, M.G. Makarenko, T.V. Tarasenko // All-Ukrainian Naukovo-Technical Journal of Promislova gidravlika i pneumatics. - 2008, №1 (19). - pp. 31-35.
14. Tarasenko T.V. Badakh V.M. Cavitation fluid leakage through throttle device // Mechanics and Advanced Technologies 3 (81). - 2017. - P. 82-91.