

КАВІТАЦІЙНЕ ОЧИЩЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ГІДРОАПАРАТУРИ ВІД ЗАБРУДНЕНЬ

THE CAVITATION CLEANING OF ELEMENTS OF HYDRAULIC APPARATUS FROM HIGH DURABILITY CONTAMINATIONS

Вступ

Очищення поверхні металевих виробів, внутрішніх поверхонь трубопроводів, внутрішніх порожнин гідравлічних пристроїв являє собою сукупність складних фізико-хімічних і механічних процесів, ефективність яких залежить від властивостей миючого середовища, розміру і властивостей часток забруднення, технологічних режимів очищення та конструктивних особливостей виробів. Ефективність очищення і вигляд очищеної від забруднень поверхні безпосередньо залежить від способу очищення та від типу миючого середовища [1].

Аналіз літературних джерел

Тривалість процесу очищення деталей, агрегатів і систем сучасної авіаційної техніки, інших мобільних машин досягає до 10–15% від загальних витрат часу на їх виготовлення [1, 2]. Тому вибір миючого середовища, способу і гідродинамічних параметрів очищення є важливим етапом у технологічному процесі виготовлення таких виробів. Забруднення металевих поверхонь у вигляді плівок, прилиплих твердих частинок, мастил можуть бути видалені у результаті механічної дії, розчинення, хімічної реакції або змивання. У деяких випадках використовують комбіновані методи очищення [3].

Оскільки забруднення поверхні металу є здебільшого сумішшю твердих дрібних частинок, продуктів корозії і окислів із полімеризованими залишками масел, жирів, олів, нагару тощо, то їх видалення потребує значних зусиль і виконання спеціальних операцій. Наприклад, інтенсифікація процесу очищення із використанням кавітаційних ефектів. Поверхню металу можна очищувати механічними засобами, направленим струменем рідини, потоком рідини, у яку занурено деталь, кавітаційними струменями та комбіновано.

Мета і об'єкт досліджень

Розроблення пристрою і рекомендацій для кавітаційного очищення елементів гідравлічної апаратури і визначення параметрів пристрою для ефективного кавітаційного очищення стійких форм забруднень.

Процес кавітаційного очищення елементів гідравлічної апаратури від стійких форм забруднень.

Результати проведених досліджень

Для очищення стійких форм забруднень, таких як нагар і смолисті відкладення на паливних форсунках двигунів внутрішнього згорання, необхідно застосувати кавітаційне струменеве очищення. Струменеве очищення є найбільш ефективним способом за рахунок використання механічного, фізико-механічного і хімічного факторів. Продуктивність процесу кавітаційного струменевого очищення залежить як від механічних властивостей і об'єму забруднень, так і від сили удару струменя, інтенсивності захоплення бульбашок і активності миючого розчину.

Основною умовою очищення поверхні (руйнування забруднень і винос їх із поверхні) є перевищення динамічних тисків, тисків при колапсі каверн, енергії коливань тиску над механічними властивостями забруднень. Під механічними властивостями слід розуміти адгезійно-когезійну характеристику забруднень, що залежить від міцності забруднень на стиснення, розтяг, зсув або адгезію до поверхні. Забруднення відділяються від поверхні, коли динамічний тиск струменя, енергія коливань тиску або тиск при захопленні бульбашки не перевищать хоч одну із вказаних механічних характеристик забруднення.

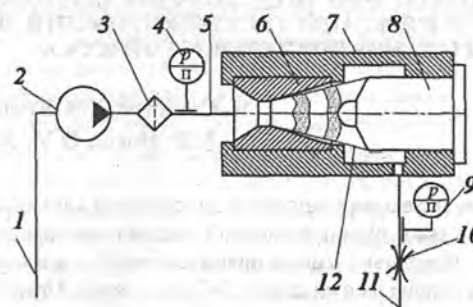
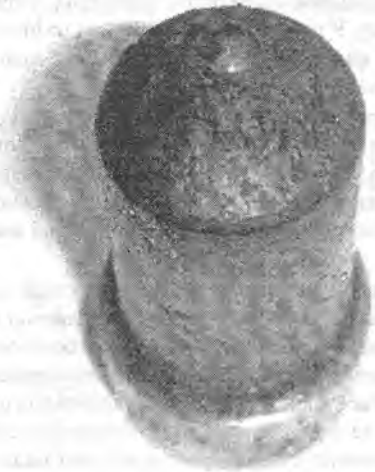


Рисунок 1 — Схема пристрою для кавітаційного очищення форсунок двигунів внутрішнього згорання:
1 — всмоктувальний трубопровід; 2 — насос;
3 — фільтр; 4, 9 — манометри; 5 — лінія нагнітання;
6 — кавітаційний генератор коливань тиску;
7 — кавітаційна камера; 8 — форсунка двигуна внутрішнього згорання; 10 — дросель змінного перерізу; 11 — лінія зливу; 12 — кавітаційний струмінь рідини

На рисунку 1 представлено пристрій для очищення форсунок від нагару. Кавітаційний генератор 6 представляє собою насадок конфузотно-дифузортного типу. Ге-

нератор вмонтовано у кавітаційну камеру 7, у яку поміщено форсунку 8. Генератор створює кавітаційний факел, у зоні якого знаходиться форсунка. За насадком генерується дискретний струмінь рідини, який рухається у “снарядному” режимі і у якому рідина перемежується газовими прошарками. За таким режимом очищення поверхню нагару діє відразу декілька факторів: динамічний тиск струменя, енергія коливання тиску у даному об’ємі, мікрострумені від бульбашок газу, що захоплюються.



а



б

Рисунок 2 — Результати очищення форсунок двигунів внутрішнього згорання (а — форсунка до очищення; б — форсунка після очищення)

Результати очищення форсунок показано на рисунку 2. На форсунці до очищення спостерігається товстий шар нагару, який є дуже твердим і має високі адгезійні

властивості. Він відкладається на металевій поверхні і нарощується при роботі форсунки, перекриваючи отвори для розпилення. Після кавітаційного очищення нагар повністю видаляється і видно металевий блиск поверхні, а також очищені отвори для розпилення палива. Очищення форсунок проводилося при тиску живлення $p_{ж} = 10 \text{ МПа}$. Максимальний час очищення склав 5–10 хв. Подальше збільшення часу очищення не є доцільним, оскільки поверхня форсунки очищувалася до металевого блиску і подальше очищення лише сприяло б розвитку кавітаційної ерозії.

Проведені дослідження показали, що запропонований спосіб очищення має високу ефективність, простоту, низьку собівартість. Відпадає спеціальна підготовка робочого місця оператора. За даним способом процес очищення відбувається у герметичній камері, тому не потрібно забезпечувати вентиляцію робочого місця оператора.

Дослідження кавітаційної ерозії конструкційних матеріалів проводилися з метою визначення оптимальних режимів очищення агрегатів гідропривода від забруднення, так знання часу інкубаційного періоду кавітаційної ерозії конструкційних матеріалів необхідно для того, щоб при кавітаційному очищенні не пошкодити саму поверхню деталі.

При визначенні режимів роботи кавітаційних генераторів коливань тиску необхідно враховувати те, що в процесі його роботи відбувається руйнування проточної частини самого кавітаційного генератора внаслідок кавітаційної ерозії. Тому актуальним є питання вибору для кавітаційних генераторів конструктивних матеріалів, які мають стійкість до кавітаційної ерозії, а також визначення довжини кавітаційного факелу, де локалізується кавітаційна ерозія.

Не дивлячись на велику кількість робіт з вивчення механізмів кавітаційної ерозії [4–9], питання вивчено не повністю. Дослідження цих процесів ускладнюється їх швидкоплинністю (порядок 10^{-6} с), а також тим, що процес кавітаційної ерозії відбувається у малих об’ємах. Колапс каверни розпочинається із розмірів 10^{-2} мм . Додаткові ускладнення створюють високі локальні тиски і підвищена температура. Більшість дослідників відзначають наявність двох основних видів зношування металів: механізм ударної хвилі і механізм кумулятивних мікроструменів.

Механізм ударної хвилі засновано на моделі колапсу каверни у ідеальній рідині. Теорія дає значення тиску при повному змиканні каверни. Високі тиски від радіальних ударних хвиль спричиняють механічні руйнування поверхонь, що знаходяться поблизу колапсу каверн. Проведені дослідження уточнюють ці результати із урахуванням стисливості рідини, в’язкості, а також демпфірування через наявність у кавернах газу, що дозволило встановити реальний рівень тиску і температури при змиканні каверн.

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 мікроструменя. Доказано, що мікрострумінь має висо-

ку швидкість і при співударянні зі стінкою може спричинити її механічні руйнування. При наявності ударних хвиль і мікроструменів, більший внесок у руйнування конструкційного матеріалу надають ударні хвилі [11, 12]. Експериментальним способом на основі непрямих вимірювань встановлено, що тиск у центрі каверни, яка зімкнулася, становить декілька тисяч атмосфер. Це значно більше ніж границя 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, внаслідок чого поверхня зношення має вигляд “місячного” ландшафту (рисунк 3).

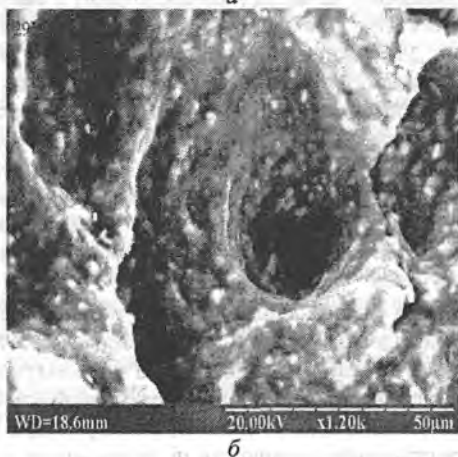
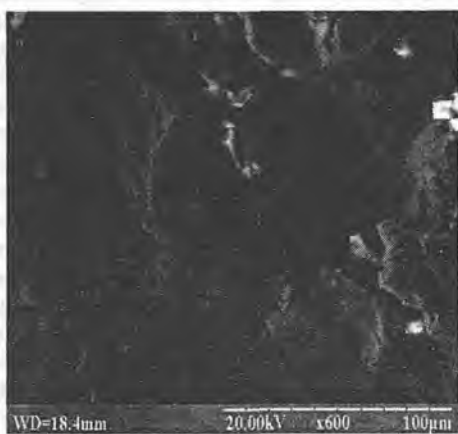


Рисунок 3 — Кавітаційна ерозія поверхонь мішеней, виготовлених із сплаву Д16АТВ: а — 600-кратне збільшення; б — 1200-кратне збільшення ($p_{вх} = 15$ МПа; $\Delta p = 0,93$; $T_p = 323$ К; $t = 15$ хв; генератор коливань — конфузурно-дифузурний насадок)

Подальші удари руйнують кільцеві кратери. Метал руйнується по границях зерен, оскільки вони опираються на пластичній деформації. Крихкі метали під дією знако-

змінних напружень ушкоджуються 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 рівною мірою є небезпечним 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 тому, що кавітація підсилює деградацію окислення, нітрацію і утворення коксу. У гідравлічних рідинах на нафтовій основі кавітація викликає місцеве пригорання, відоме як “дизельний ефект”.

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

В агрегатах гідропривода ерозія найчастіше породжується кавернами, які переміщуються. Каверни виникають і руйнуються протягом 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 в обмеженій зоні малої протяжності [6,8,13].

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

Для кавітаційного очищення значний інтерес привертають порівняльні дослідження кавітаційної стійкості різних металів і сплавів, що використовують у гідромашинобудуванні.

При проведенні випробувань сплавів, які широко використовуються у гідромашинобудуванні, було обрано наступні умови кавітаційного витікання рідини АМГ-10: температура робочої рідини дорівнювала 323 К; тиск на вході у випробувальний пристрій — 15 МПа; тиск на виході із випробувального пристрою — 1,04 МПа; час випробування тривав від 15 до 6 годин; швидкість витікання рідини дорівнювала 180 м/с.

У якості параметрів оцінки гідроерозійної стійкості було обрано час інкубаційного періоду і швидкість зміни маси матеріалу у період розвинутої кавітації. На основі проведення експериментів побудовано гістограми, показані на рисунках 4, 5.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що серед групи досліджуваних матеріалів найбільшу гідроерозійну стійкість має латунь. Це пояснюється подовженим інкубаційним періодом і структурними особливостями даного сплаву (рисунк 4).

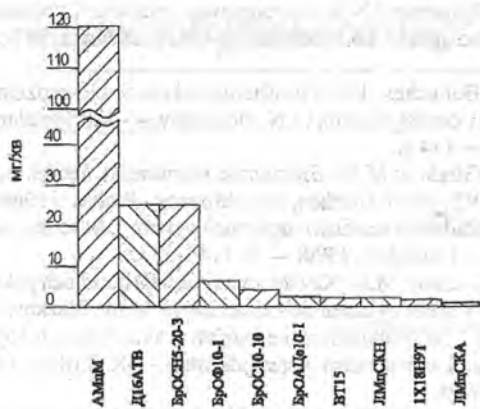


Рисунок 4 — Діаграма швидкості кавітаційної ерозії для сплавів, що широко використовуються у гідромашинобудуванні

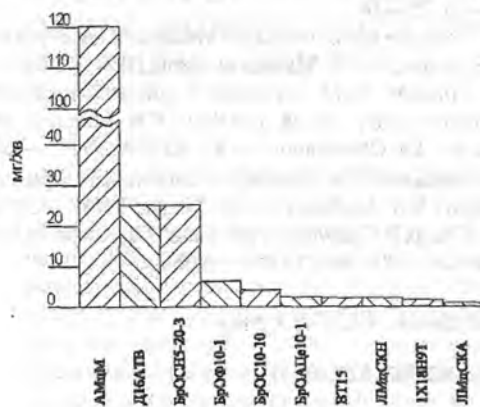


Рисунок 5 — Порівняльна діаграма інкубаційного періоду сплавів, що найчастіше застосовуються у гідромашинобудуванні

Було встановлено, що інтенсивність кавітаційної ерозії залежить від відстані до мішені (рисунок 6). Встановлено, що максимальна ерозія Δm залежить від протиску Δp і відстані S між кавітаційним генератором (насадком) і мішенню. На рисунку 6 наведено експериментальні залежності, що ілюструють вплив параметру S на інтенсивність кавітаційної ерозії.

Висновки

1. Проведені експериментальні дослідження підтвердили ефективність кавітаційного очищення поверхні гідроапаратури.
2. Для запобігання кавітаційної ерозії поверхонь, які очищуються у кавітаційному полі, необхідно, щоб термін очищення не перевищував інкубаційний період кавітаційної ерозії матеріалу. Встановлено, що для сплаву ВТ-15 інкубаційний період становить 120 хв, для нержавіючої сталі — 140 хв.

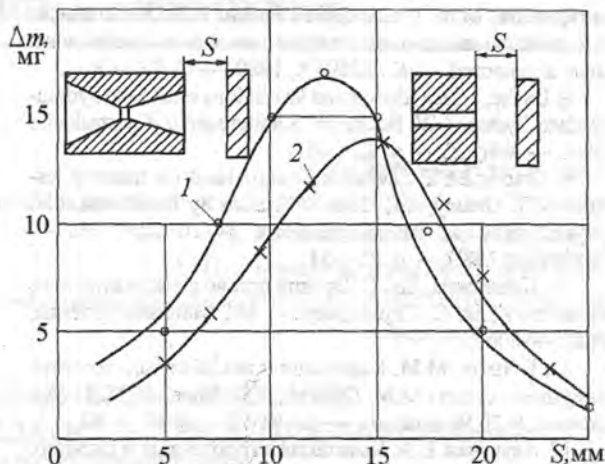


Рисунок 6 — Залежність зменшення маси мішені зі сплаву Д16 АТВ від відстані S між насадком і мішенню: 1 — конфузорно-дифузорний насадок, $\alpha_{\text{конф}} = 60^\circ$, $\alpha_{\text{диф}} = 16^\circ$; 2 — циліндричний насадок ($p_{\text{вас}} = 0,3$ МПа, $p_{\text{ак}} = 15$ МПа, $\Delta p = 0,93$; $T_p = 323$ К; $t = 15$ хв)

3. Дослідження кавітаційної ерозії конструкційних матеріалів показують, що найвищу кавітаційну стійкість мають наступні метали: БрОС10-10, БрОАЦе10-1, ВТ-15, ЛМцСКН, 1Х18Н9Т, ЛМцСКА.

4. Визначено ефективну відстань між соплом та мішенню (12 мм для конфузорно-дифузорних насадків і 15 мм для насадків Вентури), при якій спостерігається максимальна кавітаційна ерозія механічних забруднень.

Література

1. Белянин, П.Н. Промышленная чистота машин / П.Н. Белянин, В.М. Данилов. — М.: Машиностроение, 1982. — 224 с.
2. Пат. 51481 Україна В08В9/27. Спосіб очищення внутрішньої поверхні трубопроводу та пристрій для його здійснення / М.М. Глазков, В.М. Курінков, Т.В. Тарасенко; заявник і патентотримач НАУ. — № 2002042866; заявл. 09.04.2002; опубл. 15.11.2002, Бюл. №11. — 2 с.
3. Абрамзон, Л.А. Поверхностно-активные вещества / Л.А. Абрамзон. — Л.: Химия, 1975. — 248 с.
4. Богачев, И.Н. Кавитационное разрушение и кавитационностойкие сплавы / И.Н. Богачев. — М.: Металлургия, 1972. — 189 с.
5. Богачев, И.Н., Повышение кавитационно-эрозионной стойкости деталей машин / И.Н. Богачев. — М.: Машиностроение, 1964. — 144 с.
6. 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. 114—133.

7. Глазков, М.М. Кавитационная эрозия боридных покрытий стали 45 в среде авиационных горюче-смазочных материалов / М.М. Глазков, И.Н. Резник // Эксплуатационные свойства авиационных топлив смазочных материалов и спец. жидкостей. — К.: КИИГА, 1989. — С. 97—98.

8. Backe, W. Kavitation und kavitations erosion in hydraulischen System / W. Backe W. Kleinbreuer // Konstrukteur. 1981. — №4(12). — p. 32—46.

9. Gracey, M.T. Cavitation erosion used for material testing / M.T. Gracey, A.F. Conn // Erosion by liquid and solid impact: proc. of 7th intern. conf. 7—10 sept. 1987—Cambridge. 1987. — p. 25—34.

10. Спринджер, Дж. С. Эрозия при воздействии капель жидкости / Дж. С. Спринджер. — М.: Машиностроение, 1981. — 200 с.

11. 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.

12. Акуличев, В.А. Кавитация в криогенных и кипящих жидкостях / В.А. Акуличев. — М.: Наука, 1978. — 280 с.

13. Кнепп, Р.Ф. Кавитация: пер. с англ. / Р. Кнепп, Л. Дейли, Ф. Хеммит. — М.: Мир, 1974. — 679 с.

References

1. Belianin, P.N. Industrial cleanness of machines / P.N. Belianin, V.M. Danilov. — Moscow: Mashinostrojenije, 1982. — 224 s.

2. Pat. 51481 Ukraine B08B9/27. Sposib ochischnia vnutrischnoj poverchni truboprovodu ta pristrrij dlya joho sdijznennya / M.M. Glazkov, V.M. Kurinkov, T.V. Tarasenko.; zajavnik i patentotrimach NAU. — №2002042866; zajavl. 09.04.2002; opubl. 15.11.2002, Bul. №11. — 2 s.

3. Abramzon, L.A. Poverchnostno-aktivnie veschestva /

L.A. Abramzon. — L.: Himija, 1975. — 248 s.

4. Bohachev, I.N. Kavitazionnoje razrushenie i kavitazionnostojkije splavi / I.N. Bohachev. — M.: Metalurgia, 1972. — 189 s.

5. Bohachev, I.N. Povishenje kavtazionno-erozionnoj stojkosti detalej mashin / I.N. Bohachev. — M.: Metalurgia, 1964. — 144 s.

6. Glazkov, M.M. Erozionnie razrushenia detalej hidrosystem VS / M.M. Glazkov, P.A. Adzembe / Problemi dinamiki pnevmohidravlicheskich i toplivnich system LA: sb.tez. dokl. NTK. — Kuibishev, 1990. — S. 114—133.

7. Glazkov, M.M. Kavitazionnaja erozia boridnich pokpitiy stali 45 v srede aviazionnich materialov / M.M. Glazkov, I.N. Reznik / Ekspluatazionnie svojstva aviazionnich topliv smazochnich materialov i spejzjdkostej. — K.:KIHA, 1989. — S. 97-98.

8. Backe, W. Kavitation und kavitations erosion in hydraulischen System / W. Backe W. Kleinbreuer / Konstrukteur. 1981. — №4(12). — p. 32—46.

9. Gracey, M.T. Cavitation erosion used for material testing / M.T. Gracey, A.F. Conn / Erosion by liquid and solid impact: proc. Of 7th intern. Conf. 7 — 10 sept. 1987 — Cambridge. 1987. — p. 25—34.

10. Springer, Dj. S. Erozia pri vozdejstvii kapel jdkosti / Dj. S. Sprindjer. — M.: Mashinostrojenie, 1981. — 200 s.

11. Glazkov, M.M. Kavitazia v jidkostnich sistemach vozduhnych sudov / M.M. Glazkov, V.H. Laneckij, N.G. Makarenko, I.P. Chelukanov. — K.: KIHA, 1987. — 62 s.

12. Akulichev, V.A. Kavitazia v kriohennich i kipjaschich jidkostiach / V.A. Akulichev. — M.: Nauka, 1978. — 280 s.

13. Knepp, R.F. Kavitazia: per. s angl. / R. Knepp, L. Deyli, F. Chemmit. — M.: Mir, 1974. — 679 s.

Надійшла 24.02.2013 року

УДК 62-82:532.528.(045)

КАВИТАЦИОННАЯ ОЧИСТКА ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОАППАРАТУРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

T.V. Tarasenko

Предложен способ кавитационной очистки поверхностей гидравлической аппаратуры, имеющих высокопрочные загрязнения в виде смолистых отложений, нагаров, шлаков. Приведены результаты кавитационной очистки форсунок двигателей внутреннего сгорания от высокопрочного нагара. Проведен сравнительный анализ гидроэрозионной стойкости конструкционных материалов которые наиболее широко применяются в гидромашиностроении. В качестве критерия гидроэрозионной стойкости было предложено время инкубационного периода и скорость уноса массы материала в период развитой кавитации. Даны рекомендации по выбору материала для изготовления кавитационного генератора. Исследованы факторы, влияющие на интенсивность очистки поверхностей гидроаппаратуры. На основании данных исследований разработаны рекомендации для кавитационной очистки элементов гидравлической аппаратуры от высокопрочных загрязнений.

УДК 62-82:532.528.(045)

THE CAVITATION CLEANING OF SURFACES OF HYDRAULIC APPARATUS FROM CONTAMINATIONS

T.V. Tarasenko

The method of the cavitation cleaning of surfaces of hydraulic apparatus, having high durability contaminations as resinous deposits, nakerss, slags is offered. The results of the cavitation cleaning of sprayers of engines are resulted internal combustion from high durability nakers. The comparative analysis of hydraulic erosion firmness of construction materials is conducted which are most widely used in hydraulic manufacturing. As a criterion of hydraulic erosion firmness time of latent period and speed of taking away of mass of material was offered in the period of developed cavitation. Dany of recommendation on the choice of material for making of cavitation generator. Factors, influencing on intensity of cleaning of surfaces of hydraulic equipment, are investigational. On the basis of these researches developed recommendation for the cavitation cleaning of elements of hydraulic apparatus from high durability contaminations.