

МЕТОДИ ОЦІНКИ КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНИХ ЯКОСТЕЙ ГІДРОМАШИН

*П. Ю. Ткач, аспірант,
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна
E-mail: pavlencio@gmail.com*

У статті наведено перелік існуючих методів, що дозволяють оцінити кавітаційно-ерозійні якості гідромашин, виконано їх порівняння та аналіз щодо можливості використання для досліджень в галузі покращення кавітаційно-ерозійних характеристик насосів зі шнековідцентровим ступенем.

***Ключові слова:** кавітаційно-ерозійні якості, легкоруйнівне лакове покриття, шнековідцентровий ступінь.*

ВСТУП

Надійна, безаварійна робота гідромашин визначається великою кількістю внутрішніх та зовнішніх, пов'язаних з характерними особливостями роботи технологічного циклу, параметрів. Серед низки причин, що викликають знос і руйнування гідромашин, одне з центральних місць займає кавітація, яка при певній мірі розвитку призводить до ерозії стінок робочих органів, що веде до їх руйнування. Кавітаційна ерозія для агрегату, діючого протягом довгого часу, є одним з найголовніших негативних факторів, котрий в більшій мірі і визначає ресурс гідромашини. Інтенсивність ерозії та масштаби руйнування визначаються ступенем розвитку кавітації та тривалістю її впливу на поверхню, що обтікається [1 - 4].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою цієї статті є порівняння існуючих методів оцінки кавітаційно-ерозійних якостей гідромашин та обрання найкращого методу для подальших досліджень в галузі покращення кавітаційно-ерозійних характеристик насосів зі шнековідцентровим ступенем з огляду на його інформативність та час, що необхідний для використання методу.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Огляд існуючих рішень поставленої задачі

Не дивлячись на велику кількість теоретичних пошукових робіт та експериментальних досліджень в області кавітаційної ерозії, механізм руйнування деталей гідромашин в наслідок кавітації до сих пір не отримав остаточного пояснення. Аналіз праць, що присвячені цій тематиці, дозволяє зробити висновок, що в якості основної причини, яка викликає руйнування матеріалу у процесі кавітації, вважається механічна дія кавітаційної бульбашки, що схлопується [5]. Теоретичні розрахунки, які визначають перехід рідини з одного агрегатного стану в інший, показують, що раптове схлопування кавітаційної бульбашки внаслідок конденсації пара, який знаходиться всередині її, супроводжується місцевим збільшенням тиску. Цей тиск досягає значення у декілька тисяч атмосфер, який в свою чергу є джерелом механічного впливу на поверхню, що обтікається. Хімічна корозія, електролітичні процеси та місцеві збільшення температури, що також виникають в області кавітаційної зони, представляють собою вторинні явища, що прискорюють кавітаційне руйнування матеріалу. Не дивлячись на вищевказані дані, до сьогоднішнього дня ще залишилися

невирішеними багато питань, що заважають остаточно зрозуміти фізичну природу явища кавітаційної ерозії.

2. Актуальність поставленої задачі

Як правило, перші сліди кавітаційної ерозії в гідромашинах з'являються лише після так званого інкубаційного періоду, котрий може тривати десятки, а іноді і сотні годин [5]. Така довга тривалість інкубаційного періоду практично виключає можливість систематичних іспитів гідромашини на кавітаційне зношування для визначення її кавітаційно-ерозійної характеристики. Звідси впливає актуальність аналізу існуючих методів оцінки кавітаційно-ерозійних якостей гідромашин для пошуку такого, що дозволив би дати адекватну оцінку кавітаційно-ерозійному зносу і при цьому максимально заощадити час на дослідження.

3. Вибір інструменту вирішення поставленої задачі

В якості інструменту для вирішення поставленої задачі обрано аналіз літературних джерел, що містять відомості щодо існуючих методів оцінки кавітаційно-ерозійних якостей гідромашин.

4. Вирішення поставленої задачі

4.1. Метод оцінки шляхом заміру кавітаційного шуму

В гідравлічних машинах при виникненні розвитої кавітації завжди виникають звукові коливання, що мають назву кавітаційний шум. Виникнення цього шуму обумовлено динамікою кавітаційного процесу – виникненням, ростом, пульсацією та руйнуванням кавітаційних бульбашок. Інтенсивність звукових коливань чи рівень кавітаційного шуму залежить від числа бульбашок, а значить і від розмірів кавітаційної зони, що свідчить про те, що кавітаційний шум може характеризувати ступінь розвитку кавітації.

Роботу гідромашини залежно від віброакустичних характеристик можна розбити на три специфічних області: 1 - область безкавітаційних режимів; 2 - область існування локальних кавітаційних зон, що не впливають на енергетичні показники і 3 - область розвитої кавітації, що впливає на енергетичні параметри гідромашини. Критичне, в енергетичному розумінні цього визначення, значення кавітаційного запасу характеризується різким зростанням рівнів шуму і вібрації.

Незважаючи на те, що в акустичному і вібраційному відносінах вищенаведені режими областей різко розрізняються, напір гідромашини і інші її енергетичні показники при переході від безкавітаційної роботи (область 1) до режимів з місцевою кавітацією (область 2), а також у момент переходу до режиму розвитої кавітації (область 3) практично не змінюються. Розвиток кавітації викликає погіршення енергетичних характеристик, однак падіння кривої напору або ККД відбувається, як правило, трохи пізніше зростання кривих рівнів шуму і вібрації.

Основними реєструючими приладами при акустичному методі є гідрофони звичайного мембранного типу або з п'єзокерамічними елементами, що перетворюють звукові коливання в електричні сигнали, які після підсилення передаються в аналізатор спектру частот, що з'єднаний з записуючим пристроєм. Для вивчення вібраційного стану машини безпосередньо в децибелах необхідна апаратура, що складається з датчиків прискорення вібрації (наприклад, індукційних або п'єзодатчиків), фільтрів і вторинних приладів з аналізатором частот.

Численні лабораторні та натурні випробування показують, що в певних межах вибір частоти реєстрованих віброакустичних коливань не має великого значення, а також віброакустичні процеси при кавітації

можна вивчати в будь-якому місці гідромашини. Існують рекомендації для надійної реєстрації моменту виникнення кавітації користуватися високими частотами в діапазоні 1-20 кГц. Робота машини в умовах розвиненої кавітації може оцінюватися по росту шуму і вібрації на низьких і середніх частотах у смузі 20-500 Гц, які до моменту зриву роботи гідромашини різко зростають [3].

Акустичні та віброакустичні методи дозволяють визначити момент виникнення кавітаційних зон (перший поріг зростання шуму і вібрації), досить точно встановити перший критичний режим (другий поріг зростання шуму і вібрації) і всі наступні стадії розвитку кавітації аж до зриву роботи гідромашини. Великою перевагою акустичного методу є також і те, що інтенсивність звукових коливань дозволяє оцінити інтенсивність кавітаційної ерозії.

До числа недоліків віброакустичного методу слід віднести велику чутливість до наявності в робочій рідині нерозчиненого газу або повітря, бульбашки якого, поглинаючи звукові коливання та демпфуючи пульсації тиску, спотворюють їх дійсні значення, знижують точність проведених вимірювань. Більше того, різний зміст нерозчиненого газу в реальних рідинах ускладнює узагальнення результатів різних випробувань і робить неможливим встановлення будь-яких загальних кількісних параметрів. Ще більш істотним недоліком є те, що віброакустичні методи, реєструючи досить точно момент утворення кавітаційних зон, не дають уявлення про їх місці розташування.

4.2. Метод оцінки шляхом заміру вібраційних характеристик

Нестационарність явищ, супутніх кавітації, викликає пульсації тиску, які, у свою чергу, служать причиною вібрації елементів гідромашини. Подібно звуковим коливанням, інтенсивність вібрації може служити критерієм для оцінки розвитку кавітації. Широке застосування отримав метод вимірювання вібрації в силу своєї високої інформативності та оперативності.

У процесі багаторічних досліджень вибір віброприскорення в якості критерію кавітаційного впливу підтверджений численними порівняльними даними з іншими непрямими методами, результатами випробувань дослідних зразків гідромашин, даними експлуатації. Вимірюється загальний рівень віброприскорення (m/s^2) в діапазоні частот від 10 до 15000 Гц. Вимірювання проводяться на зовнішній поверхні корпусу. В якості критерію інтенсивності кавітаційного впливу приймається перевищення віброприскорення над його початковим значенням [8].

Головне достоїнство цих вимірів - наочна картина залежності інтенсивності руйнування від режимів роботи при мінімальному числі розібрань і збирань гідромашин і часу досліджень. До недоліків таких вимірювань відноситься те, що інтенсивність віброприскорення залежить не тільки від інтенсивності кавітаційного впливу, а й від механічних властивостей корпусу. Тому існує неможливість порівняння інтенсивності вібрації на різних гідромашинах.

4.3. Метод оцінки шляхом нанесення легко руйнівних лакових покриттів

Механічний вплив кавітації можна виявити за допомогою легкоруйнівних лакових покриттів. Ці покриття дозволяють за короткий час (протягом години) отримати виразні характерні сліди механічної дії кавітації і виявити місця, небезпечні щодо кавітаційної ерозії в будь-якому необхідному режимі.

Покриття легко наносяться на поверхні деталей проточної частини і видаляються з них; не вступають в хімічну реакцію з водою. Їх кольори

(наприклад: чорний і яскраво-червоний) зручні при фотографуванні картин руйнування на кольорову і чорно-білу плівки. Застосування покриттів обмежено лише температурою води, яка не повинна бути вище 28 ° C [6].

Випробування проводять на всіх необхідних режимах протягом необхідного часу на кожному, після чого оглядають, фотографують і описують руйнування. Отримана картина руйнувань дозволяє визначити наявність кавітаційно-ерозійного впливу на поверхню проточного тракту, виявити найбільш небезпечні з точки зору кавітаційної ерозії місця і, нарешті, виявити найбільш небезпечні та оптимальні за ерозійним впливом режими експлуатації.

4.4. Метод оцінки шляхом заміру довжини каверн

Метод оцінки шляхом заміру довжини каверн розроблений Гюйліхом, який останнім часом отримав широку увагу. Якщо відомий розмір каверни, то за допомогою емпіричного співвідношення можна визначити рівень ерозії та очікуваний строк експлуатації робочого колеса. Як правило, співвідношення, отримане Гюйліхом використовується для підтвердження того, що якщо товщина лопаті зруйнована ерозією на 75%, то це робить робоче колесо повністю не придатним для роботи. Так само співвідношення показує, що найбільш серйозному впливу кавітації (в сенсі сили руйнування) піддається лопать з боку нагнітання [7].

Методи оцінки шляхом заміру довжини каверн дають імовірнісні функції для прогнозування терміну експлуатації гідромашини, проте вони є емпіричними і це ускладнює їх застосування для різних гідромашин.

4.5. Метод візуалізації

Метод візуалізації та фотографування застосовується в основному для вивчення властивостей кавітаційної течії. Для цього досліджуваній орган гідромашини розміщується в прозорому корпусі з оргскла. Для отримання ефекту зупиненої лопаті спостереження і фотографування проводять при стробоскопічному освітленні. Цим методом по виду і розташуванню кавітаційних каверн можна отримати певну інформацію щодо ерозійної небезпеки [8].

Як і всі вищезазначені методи, метод візуалізації відноситься до методів непрямой оцінки, які при всіх перевагах дають лише якісну картину. Кількісна характеристика може бути отримана тільки при ресурсних випробуваннях

4.6. Метод ресурсних випробувань

Найбільш достовірну оцінку ступеня руйнування від кавітаційної ерозії можна отримати в ході ресурсних випробувань гідромашини. Однак цей спосіб - найбільш тривалий і дорогий. Тому він може бути рекомендований тільки на завершальній стадії дослідження для перевірки кращого варіанту. Причому найбільша складність полягає не стільки у визначенні інтенсивності кавітаційного руйнування, скільки в підтвердженні його відсутності. Відпрацювання даного способу з'явилася предметом тривалого літературного вивчення і багаторічного накопичення дослідних даних. У результаті вдалося звести до мінімуму кількість режимів і час випробувань. На сьогодні у більшості випадків випробування обмежуються одним режимом і часом в межах до 100 годин. Для порівняння, на початковому етапі робіт час на ресурсні випробування насосів обчислювалося тисячами годин [9]. Зрозуміло, це збільшувало час створення гідромашини і вимагало значних матеріальних витрат, особливо для великих машин.

Проаналізувавши всі наведені методи оцінки кавітаційно-ерозійних якостей гідромашин, можна виділити серед них такі - метод оцінки шляхом заміру вібраційних характеристик та метод оцінки шляхом нанесення легкоруйнівних лакових покриттів.

Перевага використання методу оцінки шляхом заміру вібраційних характеристик полягає в тому, що він дозволяє визначити швидко та інформативно кавітаційно - ерозійні якості гідромашини, а також в можливості розміщати вимірювальний інструмент безпосередньо поблизу від місця кавітації незалежно від конструкції гідромашини.

Перевага використання методу оцінки шляхом нанесення легкоруйнівних лакових покриттів полягає в тому, що він дозволяє:

- швидко виявити на поверхні проточної частини гідромашини місця можливої кавітаційної ерозії;
- судити за місцем та характером руйнування лакового покриття про особливості кавітаційної течії в гідромашинах;
- порівнювати інтенсивність кавітаційної взаємодії, що виникає як в різних місцях, так і на різних режимах роботи гідромашини;
- обрати із декількох варіантів робочих органів ті, що найменше піддаються кавітаційній ерозії у заданих умовах.

5. Адекватність теоретичних рішень та переваги практичних рішень над існуючими

Вищенаведені результати досліджень різних авторів продемонстрували різноманітність існуючих методів оцінки кавітаційно-ерозійних якостей гідромашин та свідчать про необхідність попереднього аналізу для обрання методу оцінки для конкретного дослідження.

6. Приклади застосування отриманих результатів

Досвід показує, що максимальний ефект досягається при сумісному використанні декількох методів, коли вони доповнюють один одного, що дозволяє отримувати найбільш повну картину.

Тому для досліджень в галузі покращення кавітаційно-ерозійних характеристик насосів зі шнековідцентровим ступенем в якості основного методу обирається метод заміру вібрації в силу свої високої інформативності та оперативності та в якості допоміжного - метод оцінки шляхом нанесення легкоруйнівних лакових покриттів.

ВИСНОВКИ

1. В статті показано, що питання оцінки кавітаційно-ерозійних якостей гідромашин є досі відкритим.

2. Приведено аналіз, щодо існуючих методів оцінки кавітаційно-ерозійних якостей гідромашин, який демонструє переваги та недоліки кожного методу.

3. Проаналізувавши відомі методи оцінки кавітаційно-ерозійних якостей гідромашин, було визначено, що найбільш перспективною методикою для досліджень в галузі покращення кавітаційно-ерозійних характеристик насосів зі шнековідцентровим ступенем є використання методу заміру вібрації та для більш поглибленого аналізу - метод оцінки шляхом нанесення легкоруйнівних лакових покриттів. Ця методика буде використовуватися для проведення дослідження за темою "Вплив надроторних елементів шнеку на кавітаційно-ерозійні якості шнековідцентрового ступеня насоса".

ASSESSMENT METHODS FOR CAVITATIONAL - EROSIONAL CHARACTERISTICS OF HYDRAULIC MACHINES

P. Y. Tkach,
Sumy State University,
2, Rymsky-Korsakov Str., Sumy, 40007, Ukraine
E-mail: pavlencio@gmail.com

This article provides a list of existing methods for assessing the cavitation-erosional characteristics of hydraulic machines, made comparison and analysis on the possibility of using for studies toward improvement the cavitation-erosional characteristics of the inducer centrifugal stages of the pumps.

Keywords: cavitation-erosional characteristics, easily destructible varnish, inducer centrifugal stage.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Иванов В. Г. Центробежные насосы средней быстроходности : учеб. пособие / В. Г. Иванов. - Красноярск, 1999. - 208 с.
2. Карелин В. Я. Износ лопастных гидравлических машин от кавитации и насосов / В. Я. Карелин. - М. : Машиностроение, 1970. - 184 с.
3. Карелин В. Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах / В. Я. Карелин. - М. : Машиностроение, 1975. - 336 с.
4. Михайлов А. К. Лопастные насосы / А. К. Михайлов, В. В. Малюшенко. - М. : Машиностроение, 1977. - 288 с.
5. Кнэпп Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хэммит. - М. : Мир, 1974. - 668 с.
6. Волин В. Э. Ускоренное определение кавитационно-эрозионных качеств гидромашин с помощью легко разрушаемых лаковых покрытий / В. Э. Волин, Э. Д. Лунаци // Труды ВНИИ Гидромаша. - 1968. - Вып. 37. - С.122 - 131.
7. Gulich J. F. Centrifugal pumps / J. F. Gulich. - Verlag Berlin-Heidelberg : Springer, 2010.
8. Жуков В. М. Исследование кавитационного разрушения предвключенных колес центробежных насосов для энергетики: дисс.... канд. тех. наук / В. М. Жуков. - Сумы, 1974.
9. Schiavello V. Pump Cavitation / V. Schiavello, F. C. Visser // Twenty Fourth International Pump Users Symposium. - 2008.

Надійшла до редакції 16 жовтня 2013 р.