



Полєвода Ю. А.

Вінницький  
національний аграрний  
університет

Polyevoda Y. A.

Vinnitsia National  
Agrarian University

УДК 534.2: 621.37/39 (075)

**ВІБРОАКУСТИЧНА  
ДІАГНОСТИКА ЛОПАТЕВИХ  
НАСОСІВ**

У статті пропонується розглянути джерела гідродинамічних вібрацій лопатевих насосів та існуючі гідродинамічні джерела вібрації насосів. Подано характеристику вібрації насосів при різних гідродинамічних джерелах вібрації та принципи виникнення кавітації і збурення при роботі насосів. Графічно представлено амплітудно-частотний спектр віброприскорення корпусу насоса. Проаналізовано вібросигнал отриманий з корпусу переднього підшипника насоса, з номінальною частотою обертання ротора  $3000 \text{ хв}^{-1}$ .

**Ключові слова:** вібрація, удар, шум, насос, кавітація, пульсація, дефект, віброакустична діагностика.

**Вступ.** Необхідність переходу від контролю працездатності технічних об'єктів до діагностування дефектів, що зароджуються, приводить до пошуку таких діагностичних ознак, які реагують на незначні відхилення параметрів технічного стану від норми. Виявлення несправностей, які ще не призвели до катастрофічних наслідків, визначення ступеня розвитку дефекту і його ознак можливі лише на основі дослідження тонкої структури вібросигналів і її зв'язку з кінематикою і динамікою механізмів [1, 2, 3].

**Основна частина.** Джерела вібрації гідродинамічного походження властиві потোকостворюючим та потокопровідним машинам і пристроям, в яких енергія потоку перетворюється в коливальну енергію.

Гідродинамічні джерела вібрації є визначальними для лопатевих насосів. Проте характер спектрального складу вібрації, її інтенсивність неоднакові для різних типів цих гідромашин. Лопатеві насоси (відцентрові, осьові, радіальноосьові, вихрові) мають спектр вібрації, що істотно відрізняється від спектра об'ємних насосів (поршневих, гвинтових, шестеренних і т.д.), в той час, як природа окремих складових (частота обертання, підшипникові частоти цих насосів) однакова.

Для лопатевих насосів джерелами вібрації гідродинамічного походження служать:

- явища, пов'язані з обтіканням елементів;
- утворення вихорів на лопатках і дисках, на стінках корпусу і у вихідному

патрубку, що призводить до виникнення вихрового шуму і вібрації;

- утворення межового шару на стінках проточної частини насоса, що призводить до появи псевдозвуку, який служить джерелом вібрації корпусу, а також шуму, аналогічного вихровому;

- неоднорідність потоку через скінченність числа лопаток і асиметрії корпусу.

Важливим джерелом шуму і вібрації є:

- процеси кавітацій;
- неоднорідність потоку;
- періодичні колювання об'єму рідини, що транспортується;
- різкі зміни швидкості потоку;
- імпульсні процеси вирівнювання тиску при зіткненні об'ємів рідини з різним тиском;
- збурення в потоці робочого середовища;
- турбулентні пульсації тиску.

**Аналіз сигналів.** Вібросигнал (рис. 1) отриманий з переднього корпусу підшипника насоса, з номінальною частотою обертання ротора  $3000 \text{ хв}^{-1}$ , тобто частота першої оборотної гармоніки складає 49,77 Гц. Якщо встановити гармонійний курсор на частоту 398 Гц, то можна побачити наявність другої гармоніки на частоті 796 Гц, і третьої - на частоті 1194 Гц [4, 5]. Поява гармонік лопатеві частоти свідчить про:

- пульсації тиску в потоці (398 Гц);
- порушення гідродинаміки потоку (796-840 Гц);
- зародження дефекту лопатей (1194 Гц).

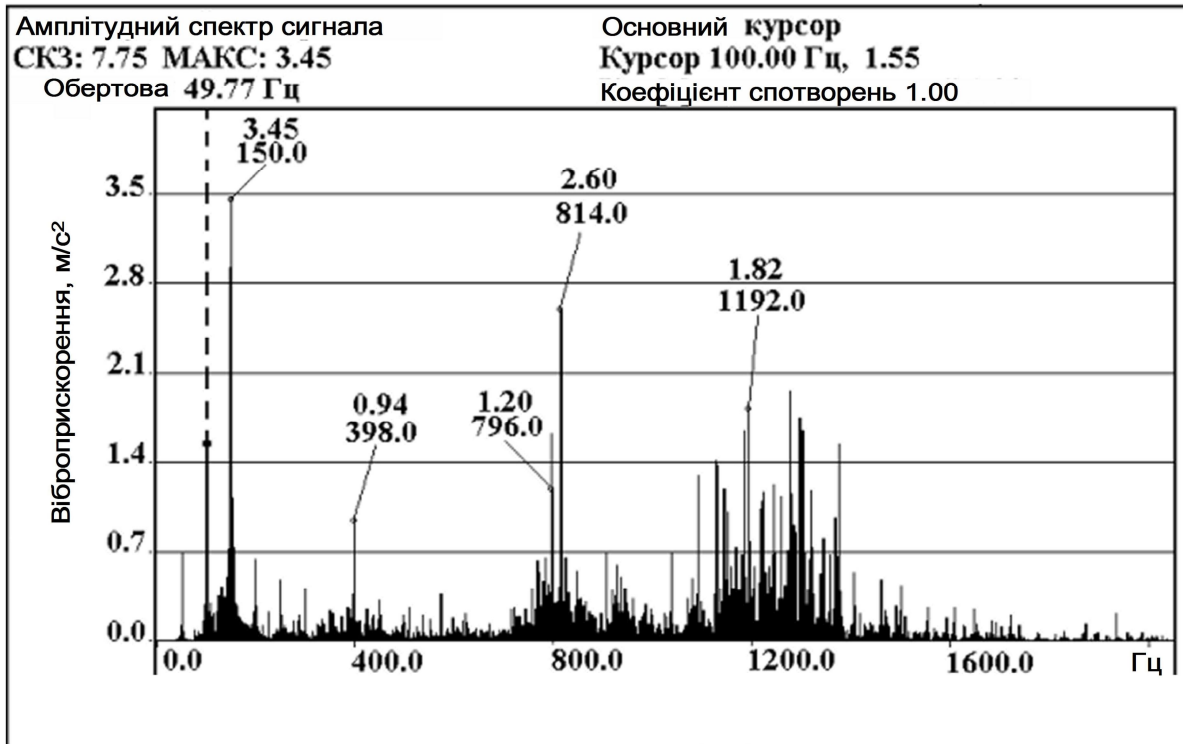
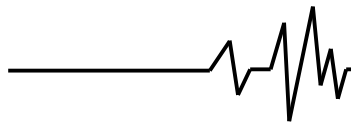


Рис. 1. Спектр віброприскорення переднього корпусу підшипника насоса

Пульсації тиску в потоці і створювана ними вібрація переважно носять випадковий характер і проявляються приблизно з постійним рівнем в діапазоні частот 1000-2000 Гц. При цьому виникають коливання корпусів, трубопроводів і робочих лопатей [4, 5].

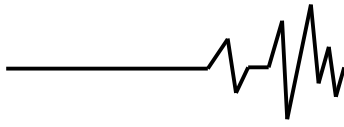
Вихроутворення в потоці виникають при зміні перерізу трубопроводу, поворотах труб, проходженні потоком розподільчої та регулюючої арматури, що призводить до випадкових пульсацій тиску.

Неоднорідності потоку в проточній частині відцентрових агрегатів (найчастіше насосів і вентиляторів, рідше - компресорів, турбін) виникають від нерівномірності розподілу швидкостей і тиску по кроку між лопатями робочого колеса. Спектральний склад пульсацій досить складний і характеризується наявністю гармонік оборотної та лопаткової частот, а також модуляцією лопаткових оборотних гармонік та іншими гармоніками. Діагностичні ознаки гідродинамічної нерівноваженості при спектральному аналізі збігаються з ознаками дисбалансу ротора, однак сили, що її викликають істотно менше, в силу чого на практиці гідродинамічна нерівноваженість ротора виявляється вкрай рідко: тільки коли ротор відбалансовано з високим ступенем точності. Вимірюючи фазу вібрації на частоті обертання ротора щодо мітки на валу можна визначити дефектне місце робочого колеса (дефектну лопать). У цей час

гідродинамічна нерівноваженість на відміну від механічної створює на вході і виході робочого колеса періодично пульсуючий потік (навіть за відсутності кавітації), тобто спектр обвідної високочастотної випадкової вібрації може містити складову на частоті обертання ротора, а глибина модуляції високочастотної вібрації може відповідати загальній характеристиці гідродинамічної нерівноваженості ротора.

Кавітація виникає при місцевому зниженні тиску в тих областях де її швидкість досягає максимального значення, тобто при обтіканні тіл або в районі ядер вихорів. Вібрація при кавітації носить випадковий характер, складові коливання лежать в області середніх і високих частот і можуть бути великі за значенням. Зазвичай максимум широкосмугової вібрації знаходиться в діапазоні від 500 до 3000 Гц, який у міру розвитку кавітаційного процесу зміщується в область низьких частот. При збігу власних частот коливань робочих лопатей або деталей насоса з частотами збуджуючих коливань, що виникають при кавітації, особливо при малих подачах, можлива поява інтенсивних автоколивань лопаток і навіть ротора та корпусу [4, 5].

Ознаки ранньої кавітації можна визначити орієнтуючись на аналіз гармонік лопатевої частоти в амплітудно-частотному спектрі віброприскорення в діапазоні частот до 3000 Гц.



Дефекти лопатей пов'язані зазвичай з нерівномірним експлуатаційним зносом лопаток, при цьому може з'являтися вібрація на частоті обертання ротора і її гармоніках (викликається дисбалансом), лопаткових частотах, які можуть бути промодульовані оборотною частотою або іншими частотами за наявності інших дефектів.

### Висновок

Аналіз спектра сигналу (рис. 1) свідчить про наявність явних діагностичних ознак порушень гідродинаміки і пульсацій тиску, зокрема, присутні лопатевої гармоніки в спектрі сигналу. У даному випадку наявність гармонік лопатевої частоти свідчить про кавітації у формі зриву вихорів з лопаток робочого колеса.

При виникненні кавітації та інших гідродинамічних джерел середньоквадратичне значення віброприскорення, виміряного на корпусі підшипника в горизонтальному напрямку, викликане зростанням амплітуди коливань лопатей і може істотно перевищувати  $15 \text{ м/с}^2$  в діапазоні частот від 10 до 3000 Гц.

### Список використаних джерел

1. Костюков В. Н., Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования / В. Н. Костюков, А. П. Науменко. Учеб. пособие. Под ред. В. Н. Костюкова. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. – 108 с.
2. Генкин М. Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М. Д. Генкин, А. Г. Соколова. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
3. Павлов Б. В. Акустическая диагностика механизмов / Б. В. Павлов – М.: Машиностроение, 1971. – 224 с.
4. Пат. 2068553 РФ, МКИ G 01 M 15/00, F 04 B 51/00. Способ оценки технического состояния центробежного насосного агрегата по вибрации корпуса / В. Н. Костюков, С. Н. Бойченко, А. В. Костюков – № 30; Оpubл. 27.10.96; Бюл. № 30.
5. Пат. 2103668 РФ, МКИ G 01 M 15/00. Способ диагностики и прогнозирования технического состояния машин по вибрации корпуса / В. Н. Костюков, С. Н. Бойченко, А. В. Костюков. – № 3; Оpubл. 27.01.98; Бюл. № 3.

### Список джерел в транслітерації

1. Kostyukov V. N., Prakticheskiye osnovy vibroakusticheskoy diagnostiki mashinnogo oborudovaniya / V. N. Kostyukov, A. P. Naumenko. Ucheb. posobiye. Pod red. V. N. Kostyukova. – Омск: Izd-vo OmGTU, 2002. – 108 s.

2. Genkin M. D. Vibroakusticheskaya diagnostika mashin i mekhanizmov / M. D. Genkin, A. G. Sokolova. – М.: Mashinostroyeniye, 1987. – 288 s.

3. Pavlov B. V. Akusticheskaya diagnostika mekhanizmov / B. V. Pavlov – М.: Mashinostroyeniye, 1971. – 224 s.

4. Pat. 2068553 RF, MKI G 01 M 15/00, F 04 B 51/00. Sposob otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya tsentrobezhnogo nasosnogo agregata po vibratsii korpusa / V. N. Kostyukov, S. N. Boychenko, A. V. Kostyukov – № 30; Opubl. 27.10.96; Byul. № 30.

5. Pat. 2103668 RF, MKI G 01 M 15/00. Sposob diagnostiki i prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya mashin po vibratsii korpusa / V. N. Kostyukov, S. N. Boychenko, A. V. Kostyukov. – № 3; Opubl. 27.01.98; Byul. № 3.

### ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА НАСОСОВ

**Аннотация.** В статье предлагается рассмотреть источники гидродинамических вибраций лопастных насосов и существующие гидродинамические источники вибрации насосов. Представлено характеристику вибрации насосов при различных гидродинамических источниках вибрации и принципы возникновения кавитации и вихреобразования при работе насосов. Графически представлены амплитудно-частотный спектр виброускорения корпуса насоса. Проанализированы вибросигнал полученный из корпуса переднего подшипника насоса, с номинальной частотой вращения ротора  $3000 \text{ мин}^{-1}$ .

**Ключевые слова:** вибрация, удар, шум, насос, кавитация, пульсация, дефект, виброакустическая диагностика.

### VIBROACOUSTIC DIAGNOSTICS OF PUMP

**Annotation.** The article proposes to consider the sources of vibration hydrodynamic vane pumps and existing hydrodynamic sources of vibration pumps. The characteristics of vibration pumps for different sources of vibration and hydrodynamic principles of cavitation and vortex formation at the pump. Graphically illustrates the amplitude-frequency spectrum of the acceleration of the pump housing. Analyzed the vibration resulting from the housing front bearing of the pump, with a rated rotor speed of  $3000 \text{ min}^{-1}$ .

**Key words:** vibration, shock, noise, pump cavitation, ripple, defect, vibroacoustic diagnostics.