

*Я. Б. Кирилів¹, канд. техн. наук, ст. наук. спіроб., І. Л. Ущипівський², канд. техн. наук
(¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
²Головне управління ДСНС України у Львівській області)*

ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ ДИСБАЛАНСУ РОБОЧОГО КОЛЕСА НА ВІБРАЦІЙНІ ПАРАМЕТРИ ПОЖЕЖНОГО НАСОСА ПН-40УВ ПІД ЧАС ЙОГО РОБОТИ

Погіршення технічного стану відцентрових насосів, що встановлені на пожежному автомобілі, призводить до втрати їх тактико-технічних характеристик. Проведено експериментальне випробування відцентрового пожежного насоса для подачі вогнегасних речовин, який має відомий дефект – дисбаланс робочого колеса. Зазначене дослідження спрямоване на визначення закономірностей зміни вібраційних характеристик насоса внаслідок наявності такого дефекту. Встановлено, що засмічення робочого колеса призводить до збільшення дисбалансу, що посилює вібрації, особливо у вертикальній площині. Відповідний ефект проявляється сильніше під час випробувань насоса без води оскільки у цьому випадку осьова складова сили, що збуджує коливання, мінімальна.

Ключові слова: технічний стан, пожежні насоси, дисбаланс, робоче колесо, вібраційні показники, вертикальна площина

Я. Б. Кырылив, И. Л. Ущипивский

ВЫЯВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСБАЛАНСА РАБОЧЕГО КОЛЕСА НА ВИБРАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЖАРНОГО НАСОСА ПН-40УВ ВО ВРЕМЯ ЕГО РАБОТЫ

Ухудшение технического состояния центробежных насосов, установленных на пожарном автомобиле, приводит к потере их тактико-технических характеристик. Проведено экспериментальное испытание центробежного пожарного насоса для подачи огнетушащих веществ, имеющего известный дефект – дисбаланс рабочего колеса. Данное исследование направлено на определение закономерностей изменения вибрационных характеристик насоса вследствие наличия такого дефекта. Установлено, что засорение рабочего колеса приводит к увеличению дисбаланса, усиливает вибрации, особенно в вертикальной плоскости. Соответствующий эффект проявляется сильнее во время испытаний насоса без воды потому что в этом случае осевая составляющая силы, возбуждающая колебания, минимальна.

Ключевые слова: техническое состояние, пожарные насосы, дисбаланс, рабочее колесо, вибрационные показатели, вертикальная плоскость

Ya. B. Kyryliv, I. L. Ushchypivskyi

INFLUENCE OF THE IMPELLER DISBALANCE ON PN-40UV FIRE PUMPS VIBRATION PARAMETERS DURING EXPLOITATION

Degradation of the centrifugal pumps, installed on fire engines, causes the loss of their tactical and technical characteristics. The experimental test of centrifugal fire pump with disbalanced impeller has been done for determining the patterns of change in vibration characteristics of the pump because of the presence of such a defect. It has been found that clogging of the impeller leads to disbalance increasing that strengthens the vibration, especially in the vertical plane. The corresponding effect has been stronger during testing the pump without water because in that case the axial component force has been minimal.

Key words: technical condition, fire pumps, disbalance, impeller, vibration performance, the vertical plane

Вступ. Ефективність роботи пожежних і рятувальних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) значною мірою залежить від стану готовності пожежно-технічного озброєння. Під час ліквідації пожежі підрозділом, базовою стратегічною дією є подача вогнегасної рідини до осередку загорання. При цьому використовується насосна установка, що входить до технічного оснащення відповідного спеціалізованого автомобіля [1-3].

Ефективність пожежогасіння значною мірою обумовлена працездатністю пожежних насосів відцентрового типу, які входять до складу пожежно-технічного оснащення основних (98 % від загальної кількості в Україні) пожежних автомобілів.

Погіршення технічного стану відцентрових насосів, що встановлені на пожежному автомобілі, призводить до втрати їх тактико-технічних характеристик. Так невеликі пошкодження підшипникового вузла, що призводять до підвищення вібрацій насоса, супроводжуються втратою до 25% напору, який він має виробляти [4-7]. Аналогічно часткове пошкодження або засмічення робочого колеса призводить до втрати тиску та напору насоса на понад 30%. Відповідні зміни мають бути враховані під час оцінки тактичних дій підрозділів ДСНС України, а визначення подальшого погіршення технічного стану насоса має бути рекомендацією до позапланового ремонту.

Відмічені особливості підтверджуються статистичними даними щодо виїздів підрозділів ДСНС. Так, у 20% випадків було зафіксовано випадки виходу з ладу пожежно-технічного обладнання різного характеру та складності. Серед них майже 75 % – це технічні проблеми із насосною установкою, де майже половина – проблеми безпосередньо пов'язані із відцентровим пожежним насосом. Слід зазначити, що усунення деяких несправностей може бути реалізовано заміною та відбувається майже миттєво, а отже істотно не впливає на ефективність діяльності підрозділів під час ліквідації пожежі. З іншого боку, усунення несправностей, що пов'язані безпосередньо із роботою насоса, триває від 2 до 5 годин і, як правило, потребує спеціального обладнання. Це істотно впливає на час ліквідації надзвичайної ситуації [1].

Крім того, деякі дефекти здатні проявлятися негативним чином на тактико-технічних показниках роботи насоса (наприклад зменшувати напір, розхід), що також негативно відбивається на ефективності його роботи.

Отже важливим завданням є проведення експериментальних випробувань відцентрового пожежного насоса для подачі вогнегасних речовин, який має відомий дефект – дисбаланс робочого колеса. Зазначене дослідження спрямоване на визначення закономірностей зміни вібраційних характеристик насоса внаслідок наявності такого дефекту.

В цілому можна відзначити, що ці дефекти, які зазвичай призводять до виходу із ладу насосів, попередньо підвищують вібраційний рівень роботи насоса. Отже, застосування вібраційної діагностики, як інструмента визначення технічного стану відцентрових пожежних насосів, може бути досить ефективним [8].

Мета роботи. Метою роботи є дослідження впливу дисбалансу робочого колеса на вібраційні параметри пожежного насоса ПН-40УВ під час його роботи.

Постановка задачі та її розв'язання. В основу дослідження покладено методику [8], на основі якої проведено експериментальне дослідження, яке спрямоване на визначення закономірностей зміни вібраційних характеристик насоса внаслідок наявності дисбалансу на робочому колесі. Таким чином, порівняльний аналіз зміни у динаміці системи порівняно з еталоном дає можливість сформулювати ознаки прихованого дефекту дисбалансу робочого колеса насоса, а отже дає змогу проводити діагностування його технічного стану.

Найпростішим випадком посилення вібрацій є дисбаланс. В роботі насоса часто дисбаланс виникає внаслідок потрапляння до робочого колеса насоса сторонніх предметів.

У цій роботі проводилось натурне моделювання потрапляння стороннього тіла із заданою масою до робочого каналу робочого колеса насоса. Для цього, до робочого колеса насоса було приєднано додаткову масу (рис. 1).

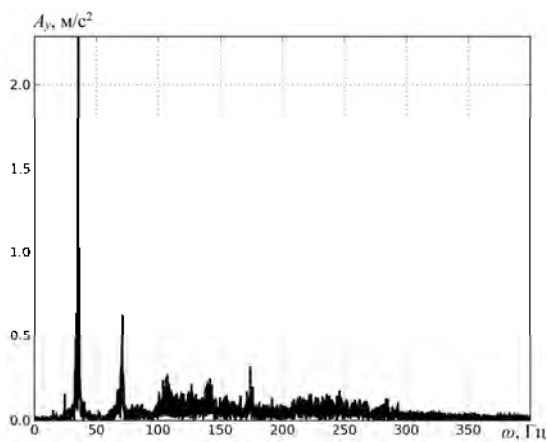
Окремо проводилось моделювання із різними масами – 11 та 56 г. Відповідні значення було обрано, як характерне середнє та максимальне значення маси тіл, що можуть потрапити до робочого колеса.

Дослідження вібрацій насоса із додатковим дисбалансом проводилось за методикою [8]. Вібрація вимірювалась на двох режимах роботи насоса: без води та з водою без її подачі.

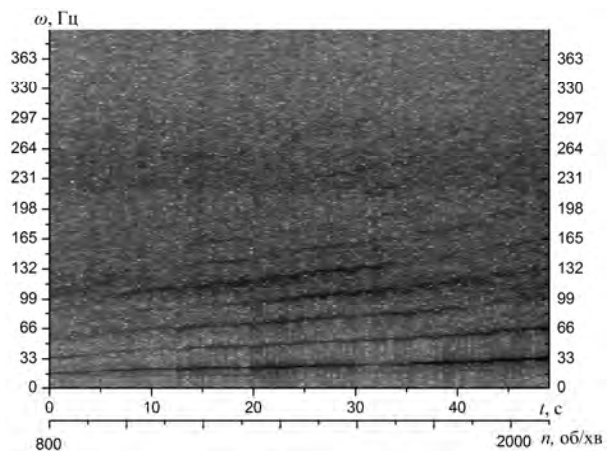


Рисунок 1 – Фото встановлення до робочого колеса насоса додаткової маси, що імітує потрапляння стороннього тіла та викликає додатковий дисбаланс

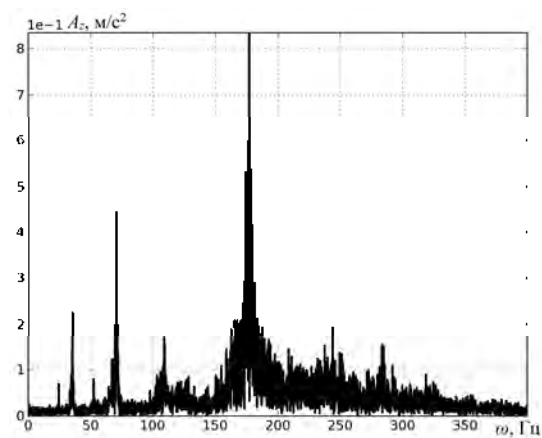
На рис. 2 представлено спектри вібрацій насоса із додатковим дисбалансом 56 г, який працює без води на частоті обертання ротора 2000 об/хв. Додатково на цьому ж рисунку зведено спектрограми прогонки насоса від 800 до 2100 об/хв.



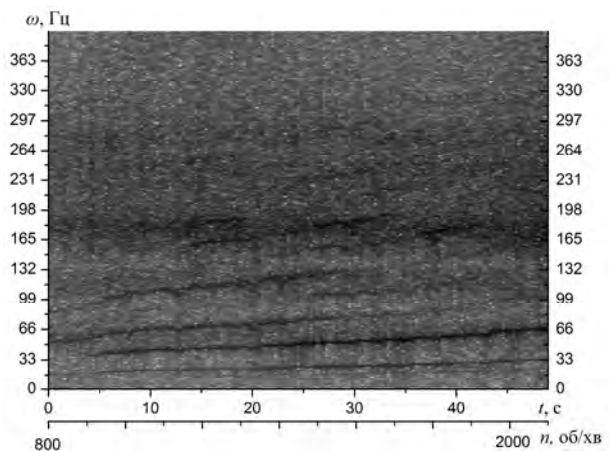
a



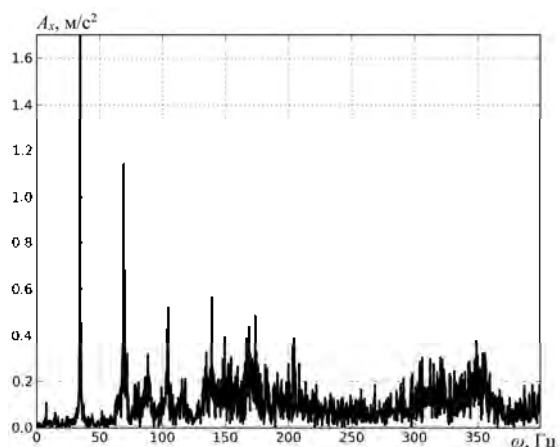
б



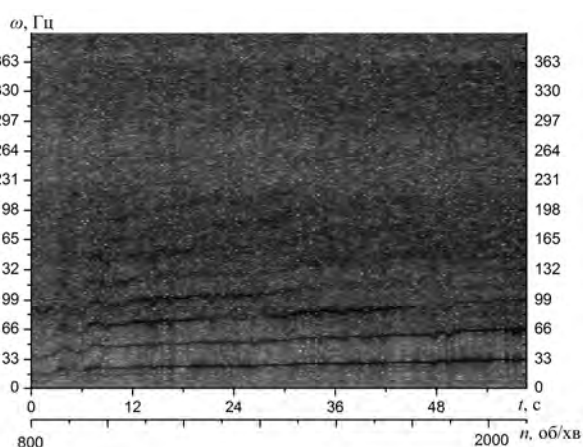
в



г



д



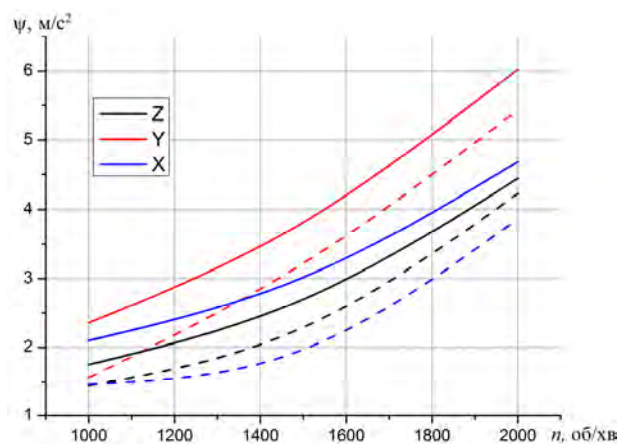
ε

Рисунок 2 – Вібрації насоса біля всмоктувального патрубку без води і з наявністю додаткового дисбалансу, що викликаний присутністю стороннього тіла масою 56 г: а, в, д – спектри сигналу віброприскорень; б, г, ε – поля змін спектрів (спектрограми) вібрацій при «прогонці» у вертикальному (а, б) осьовому (в, г) та горизонтальному (д, ε) напрямках

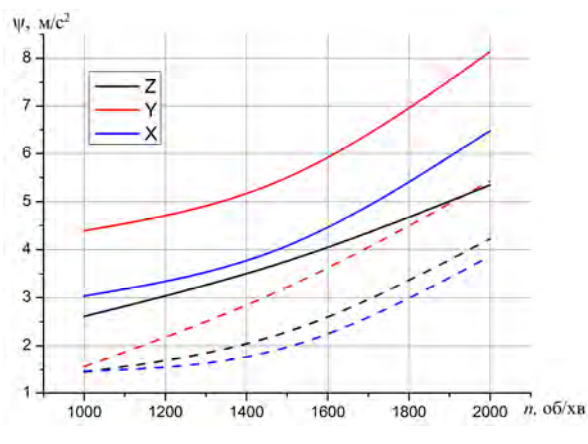
Аналіз спектрів у порівнянні із вібрацією насоса без додаткового дисбалансу вказує на їх якісний збіг. У спектрах проявляють перші 5-6 гармонік частоти обертання ротора. У вертикальному та горизонтальному напрямках домінує перша гармоніка. У осьовому напрямі домінує 5 гармоніка, що вказує на її потрапляння до резонансної зони, яка чітко відслідковується на спектрограмах у діапазоні від 130 до 200 Гц.

Аналогічна тенденція спостерігається і за вібрації насоса із меншим додатковим дисбалансом – 11 г.

Отже для експериментальних випробувань насоса із дисбалансом необхідне вимірювання лише загального рівня вібрацій у різних напрямках. На рис. 3 представлено залежності середньоквадратичних значень віброприскорень у різних напрямках від швидкості обертання ротора. На рисунках пунктирними лініями додано відповідні залежності середньоквадратичних значень для вібрацій насоса без додаткового дисбалансу.



а



б

Рисунок 3 – Залежності середньоквадратичних значень віброприскорень вібрацій насоса біля всмоктувального патрубку без води і з наявністю додаткового дисбалансу, що викликаний присутністю стороннього тіла масою (а) – 11 г, (б) – 56 г

Отримані залежності мають якісно той самий параболічний вигляд, що і залежності середньоквадратичних значень насоса без додаткового дисбалансу. Їх кількісний аналіз вказує на те, що підвищена вібрація найбільше формується у вертикально-горизонтальній площині (проте підвищення вібрацій у осьовому напрямі також спостерігається) [9].

На рис. 4 подано просторову траєкторію вектора віброприскорення під час вібрацій насоса без води, але з додатковим дисбалансом 56 г. Загальна картина якісно повторює результати вібрацій, що спостерігались при вібраціях насоса без додаткового дисбалансу. Усі проєкції траєкторії мають еліптичний характер. На проєкції траєкторії на площину YZ більша вісь еліпса розташована під кутом до осьового напрямку (кут нахилу зберігається).

Окрім досліджень вібрації насоса, який працював без води із різними масами, що викликають додатковий дисбаланс, було проведено дослідження із визначення вібрацій насоса з водою та без її подачі. Цей режим є найбільш динамічно навантаженим. Залежності середньоквадратичних значень віброприскорень від швидкості обертання ротора подано на рис. 5 (на рисунках пунктирними лініями наведено графіки залежностей середньоквадратичних значень віброприскорень насоса, який працює на тому самому режимі без наявності додаткового дисбалансу).

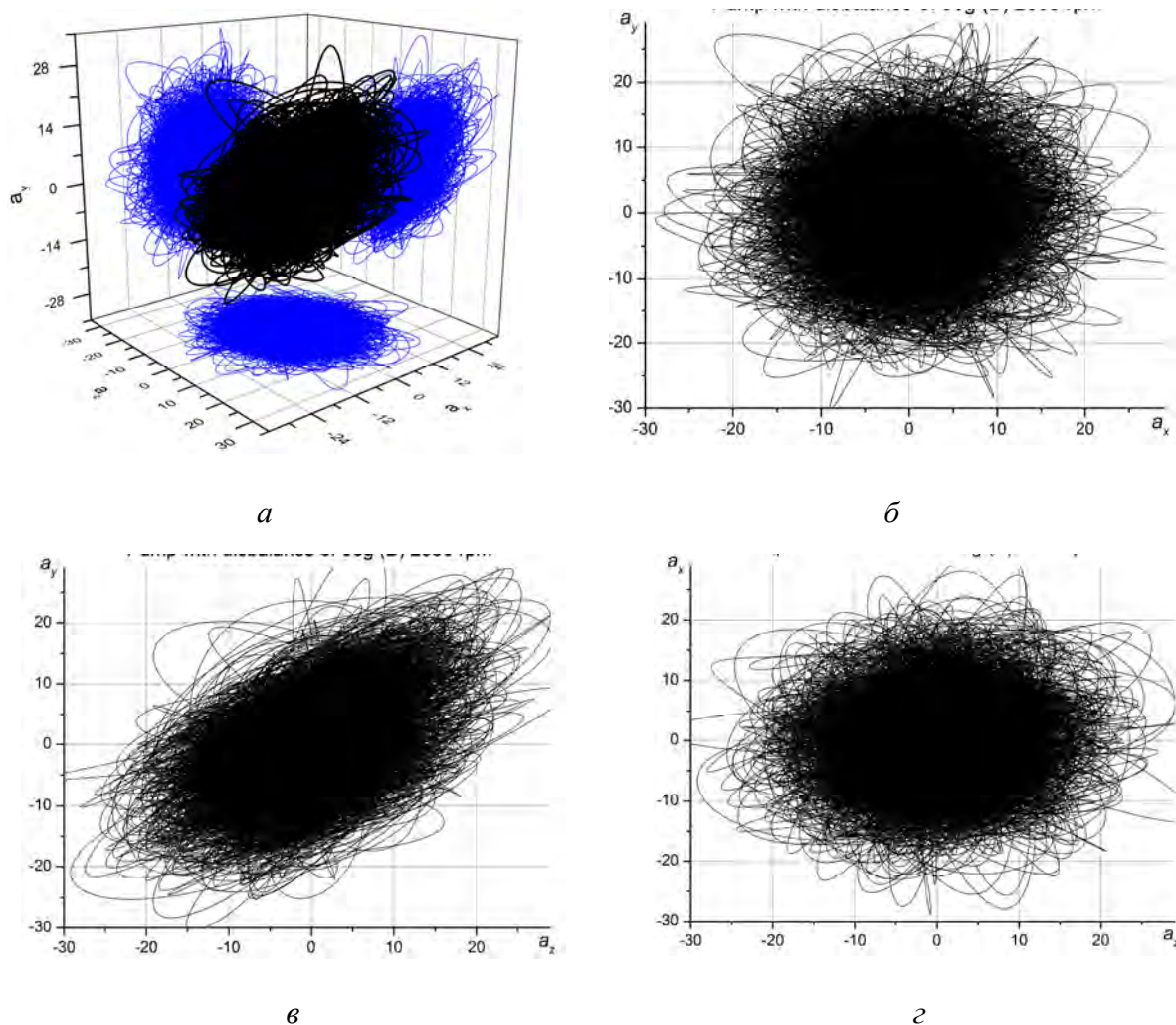
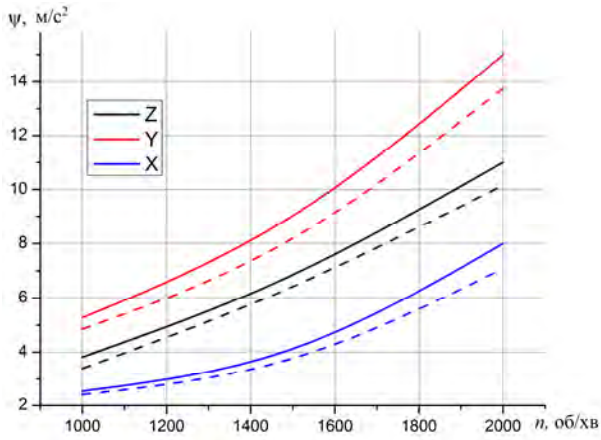
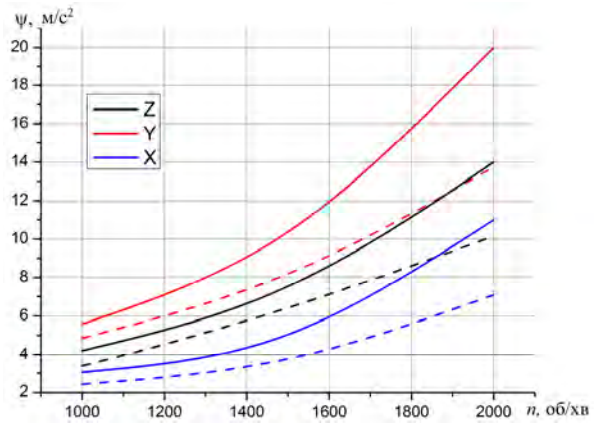


Рисунок 4 – Просторова траєкторія вектора віброприскорення при вібрації насоса біля всмоктувального патрубку без води і з наявністю додаткового дисбалансу, що викликаний присутністю стороннього тіла масою 56 г: а – траєкторія у просторі; б, в, г – проєкції траєкторій на площини XY , YZ та XZ



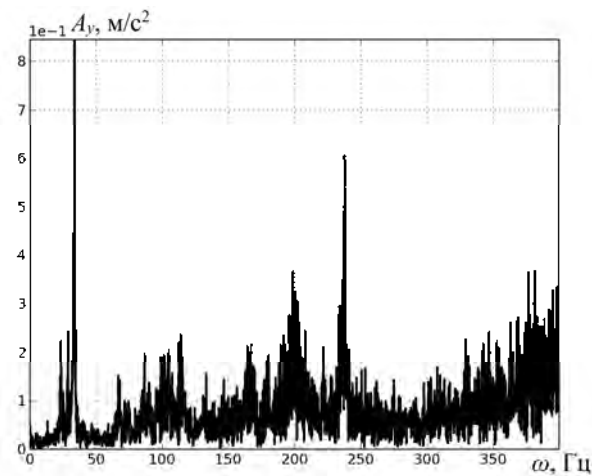
а



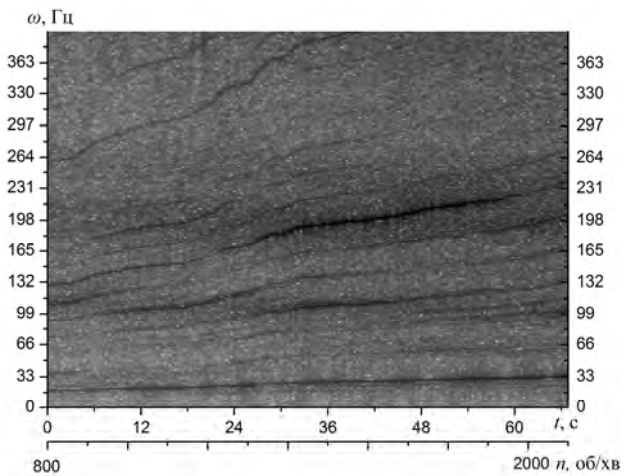
б

Рисунок 5 – Залежності середньоквадратичних значень віброприскорень вібрацій насоса біля всмоктувального патрубку з водою без її подачі і з наявністю додаткового дисбалансу, що викликаний присутністю стороннього тіла масою (а) 11 г, (б) – 56 г

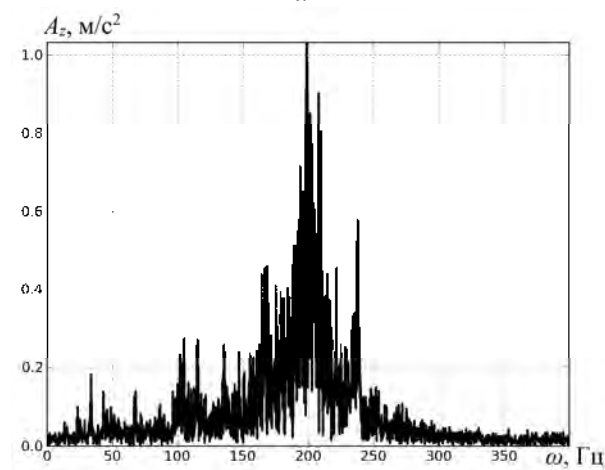
Аналіз результатів показує, що залежності зберігають ту саму тенденцію росту вібрацій із ростом частоти обертання ротора та ростом величини додаткового дисбалансу. Досить суттєвою є осьова вібрація.



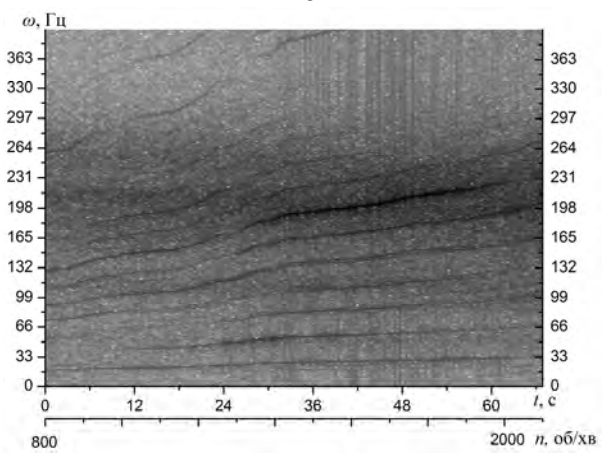
а



б



а



б

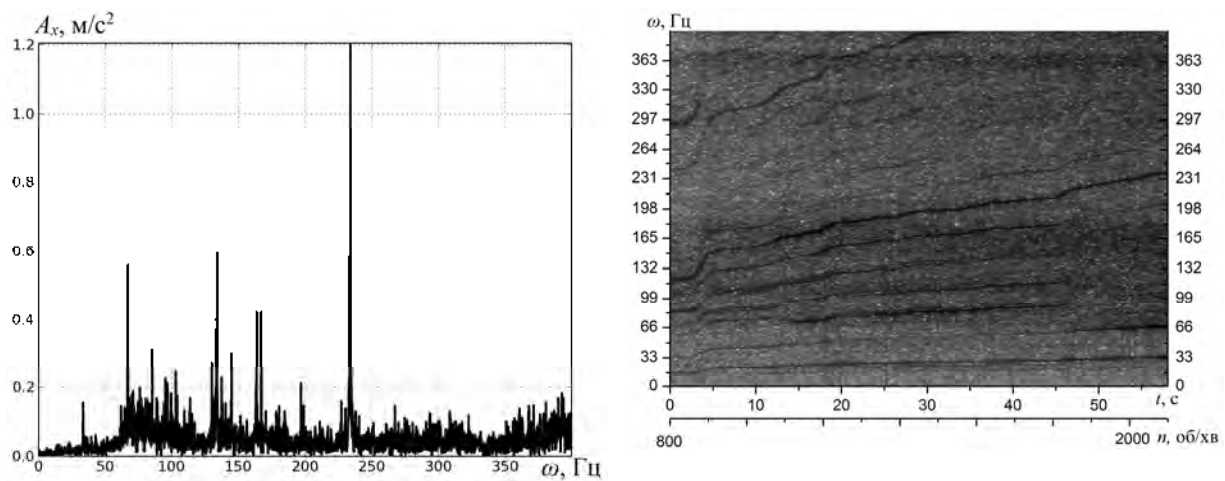


Рисунок 6 – Вібрації насоса біля всмоктувального патрубку з водою і з наявністю додаткового дисбалансу, що викликаний присутністю стороннього тіла масою 56 г: а, в, д – спектри сигналу віброприскорень; б, г, є – поля змін спектрів (спектрограми) вібрацій при «прогонці» у вертикальному (а, б) осьовому (в, г) та горизонтальному (д, є) напрямках

Спектральний склад зареєстрованих вібраційних сигналів схожий із аналогічним спектром насоса, який не має дисбалансу (рис. 6). У спектрі досить з великою часткою присутня 7 гармоніка, що обумовлена кількістю лопатей робочого колеса. У діапазоні 160-240 Гц проявляється власна частота, яка дає резонансні коливання, що особливо істотно проявляється у осьовому напрямі.

Висновок. Встановлено, що засмічення робочого колеса призводить до збільшення дисбалансу, що посилює вібрації, особливо у вертикальній площині. Відповідний ефект проявляється сильніше під час випробувань насоса без води оскільки у цьому випадку осьова складова сили, що збуджує коливання, мінімальна. На підставі отриманих результатів можна сформулювати його вібраційні ознаки, що на практиці дасть змогу проводити діагностування технічного стану.

Список літератури:

1. Иванов А. Ф. Пожарная техника. Ч. I. Пожарно-техническое оборудование / А. Ф. Иванов, М. Д. Безбородько. – М. : Стройиздат, 1988. – 415 с.
2. Иванов А. Ф. Пожарная техника. Ч. II. Пожарные автомобили / А. Ф. Иванов, М. Д. Безбородько. – М. : Стройиздат, 1988. – 286 с.
3. Пожежна техніка. Ч.1. Пожежні насоси : Навчальний посібник / Перепечасв В. Д., Макаревський П. В., Качкар Є. В., Биченко С. М. та ін. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2012. – 125 с.
4. Пожарные насосы // Строй-Теника. Ру. – режим доступу: <http://stroy-technics.ru/article/pozharnye-nasosy> (20.03.2014).
5. Апполонова И. В. Надежность и эффективность в технике. Справочник Т. 7 / Под редакцией И. В. Апполонова. – М. : Машиностроение, 1989. – 280 с.
6. Синельникова Е. А. Повышение эффективности системы водозаполнения насосных агрегатов пожарных автомобилей. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук: 05.26.03. – М., 2004. – 21 с.
7. Иванов Е. Н. Противопожарное водоснабжение / Е. Н. Иванов – М. : Стройиздат, 1986. – 316 с.

8. Експериментальні дослідження вібрацій відцентрового пожежного насоса зі зношеними підшипниками / І. Л. Ущипівський, Я. Б. Кирилів, О. О. Водка, О. О. Ларін // Пожежна безпека : зб. наук. пр. – Л. : ЛДУБЖД, 2013. – № 23. – С. 158-165.

9. Кирилів Я. Б. Аналіз технічного стану пожежних насосів, що мають засмічення робочого колеса шляхом вібродіагностики / Я. Б. Кирилів, І. Л. Ущипівський // Науковий вісник УкрНДІПБ : наук. журн. – К. : УкрНДІПБ, 2013. – № 2(28). – С. 74-81.

References:

1. Ivanov, A.F. & Bezborodko M.D. (1988), *Pozharnaia tekhnika. Ch. I. Pozharno-tekhnicheskoe oborudovanie* [Fire trucks. Part I. Fire-technical equipment], Stroiizdat, Moscow, USSR.

2. Ivanov, A.F. & Bezborodko M.D. (1988), *Pozharnaia tekhnika. Ch. II. Pozharno-tekhnicheskoe oborudovanie* [Fire trucks. Part II. Fire-technical equipment], Stroiizdat, Moscow, USSR.

3. *Pozhezhna tekhnika. Ch. I. Pozhezni nasosy : Navchalnyi posibnyk* [Fire trucks. Part 1. Fire pumps: Manual]. Perepechaev V.D., Makarevskyye P.V., Kachkar E.V., Bychenko S.M. and other (2012). APB im. Geroiv Chornobylia, Cherkasy, Ukraine.

4. *Pozharnye nasosy* [Fire pumps] (2014). Stroi-tekhnika. Retrieved from <http://stroy-technics.ru/article/pozharnye-nasosy>, Russia.

5. *Nadiezhnost i effektivnost v tekhnike : Spravochnik T. 7* [The reliability and effectiveness of the technique: Directory T 7] (1989). Ed. by I.V. Appolonova, Mashynostroenie, Moscow, USSR.

6. Synelnikova, E.A. (2004), "Increasing the effectiveness of the water-filled pump units of fire trucks". Thesis for Cand. Sc. (Engineering). 05.26.03, Moscow, Russia.

7. Ivanov, E.N. (1986), *Protivopozharnoe vodosnabzhenie* [Fire water supply], Stroiizdat, Moscow, USSR.

8. Uschapivsky, I.L., Kyryliv, Ya.B. et al. (2013). Experimental study of vibration centrifugal fire pump with worn bearings. *Pozhezhna bezpeka : zb. nauk. pr. (Fire safety : sci. res. j.)*, 23, 158-165, Ukraine.

9. Kyryliv, Ya.B., & Uschapivsky, I.L. (2013). Analysis of the technical state of fire pumps, with clogging impeller by vibration. *Naukovyi visnyk UkrNDIPB : nauk. zhurn. (Scientific journal UkrRIFS: sci. j.)*, 2(28), 74-81, Ukraine.

