

УДК 614.846.35:534.1

*Я.Б. Кирилів, канд. техн. наук, І.Л. Ущипівський*

### **АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПОЖЕЖНИХ НАСОСІВ, ЩО МАЮТЬ ЗАСМІЧЕННЯ РОБОЧОГО КОЛЕСА ШЛЯХОМ ВІБРОДІАГНОСТИКИ**

В роботі розглянуто експериментальні випробування відцентрового пожежного насосу для подачі вогнегасних речовин, який має відомий дефект: прояв дисбалансу внаслідок засмічення робочого колеса. Відцентровий пожежний насос є складною динамічною системою наявність дефекту в якій змінює динамічну поведінку. Зазначені дослідження спрямовані на визначення закономірностей зміни вібраційних характеристик насосу внаслідок наявності цього дефекту. Таким чином, порівняльний аналіз зміни у динаміці системи в порівнянні із еталоном надає можливість сформулювати ознаки прихованого дефекту у середині насосу, а отже дозволяє проводити діагностування його технічного стану.

*Ключові слова:* відцентровий пожежний насос, вібровимірювання, вібродіагностика, спектрограми вібрацій.

*Ya. Kiriliv, Cand. of Sc. (Eng.), I. Uschapivsky*

### **ANALYSIS OF THE TECHNICAL STATE OF FIRE PUMPS, WITH CLOGGING IMPELLER BY VIBRATION**

In this work the experimental test of a centrifugal fire pump for supply of extinguishing agent that has known defects: a manifestation of imbalance due to clogging impeller. Centrifugal fire pump is a complex dynamic system defect which alters the dynamic behavior. These studies are aimed at identifying patterns of change of vibration characteristics of the pump due to the presence of the defect. Thus, a comparative analysis of the changes in the dynamics of the system compared to the standard form provides signs of a latent defect in the middle of the pump, and thus allows the diagnosis of his technical condition.

*Keywords:* centrifugal fire pump vibrovymiryuvannya, vibration, vibration spectrogram.

Успіх аварійно-рятувальних робіт під час ліквідації аварій або пожеж суттєво залежить від технічного стану обладнання, що використовується оперативними підрозділами Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС). Так, обробка даних по виїздах підрозділів ДСНС (усереднено та зведено до одного регіону) за 1 місяць вказує, що у 20% випадків було зафіксовано події виходу з ладу пожежно-технічного обладнання різного характеру та складності. При цьому серед них майже 75% то є технічні проблеми із насосною установкою, де майже половина це проблеми безпосередньо пов'язані із відцентровим пожежним насосом (рис. 1). Слід відзначити, що час усунення деяких несправностей може бути реалізовано заміною та відбувається майже миттєво, а отже не істотно впливає на ефективність діяльності підрозділів. З іншого боку усунення несправностей, що пов'язані безпосередньо із роботою насоса, складає від 2 до 5 годин і, як правило, потребує спеціального обладнання, що здатне вкрай істотно впливати на час ліквідації надзвичайної ситуації. Така ситуація викликана тим, що, на сьогоднішній день, на озброєнні ДСНС України знаходиться більше 4 тис. од. пожежної техніки, з яких 65 % це автоцистерни, які експлуатуються понад 20 років.



Рисунок 1 – Статистичні дані по подіям виходу з ладу елементів пожежної техніки

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Таким чином, планування робіт з ліквідації надзвичайних ситуацій, оцінка ефективності діяльності підрозділів та оцінка часу ліквідації пожежі повинні враховувати надійність технічного обладнання. В літературі відомі відповідні роботи [1,2]. Разом із тим у зазначених наукових працях та запропонованих підходах використовувались апріорні статистичні дані по надійності обладнання, проте більш персоналізована оцінка надійності, що визначена за умови врахування додаткової діагностичної інформації, яка може бути отримана під час планових ТО для конкретних насосів дозволила б підвищити ефективність відповідних методик.

Окрім цього слід відмітити, що досвід експлуатації насосів вказує, що дефекти, які призводять до виходу із ладу насосів зазвичай, призводять до підвищення вібраційного рівня, що супроводжує його роботу. Отже застосування вібраційної діагностики, як інструменту визначення технічного стану відцентрових пожежних насосів є ефективності інструментарієм [3,4].

Постановка задачі та її рішення. В даній роботі розглянуто експериментальні випробування відцентрового пожежного насосу на різні режимах його роботи. Відповідні дослідження дозволяють визначити характерні особливості вібрацій насосу, що є еталонними та дають змогу шляхом порівняння із аналогічними характеристиками вібрацій насосу із пошкодженнями та дефектами визначити діагностичні критерії та ознаки.

Серед усіх відцентрових пожежних насосів, що використовуються під час ліквідації НС найбільш поширеними є насоси серії ПН-40УВ(А). Інші насоси є зазвичай більш спеціалізованими, проте геометрично та конструктивно є подібними до ПН-40УВ, а відрізняються розмірами, матеріалом та системою керування. Тому в даній роботі експериментальні дослідження проводились із відцентровим пожежним насосом ПН-40УВ, проте визначені результати якісно можуть бути використані для будь-якого відцентрового пожежного насосу.

Методика експериментальних досліджень. Експериментальні дослідження проводились із використанням вимірювального комплексу «Ультра-В-І» [5], який розроблений на кафедрі динаміки та міцності машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків, Україна). Вимірювальний комплекс складається із: датчика віброприскорень, що оснащений мікроелектромеханічним ємнісним сенсором; аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та портативного комп'ютера. Під час випробувань із наведеним вимірювальним комплексом використовувався датчик

віброприскорень ВДК-3, який оснащений сенсором ADXL250 (виробництво Analog Device, США). Даний датчик є ємкісним та дозволяв проводити заміри віброприскорень із амплітудами в діапазоні 0.5 до 40 м/с<sup>2</sup> та в частотному діапазоні від 1 до 400 Гц. Габаритні розміри: ширина 75 мм, висота 80 мм, товщина 30 мм «Ультра-В-І» має дійсне свідоцтво про Державну метрологічну атестацію і дозволяє проводити вимірювання віброприскорень у точці конструкції.

Вібрація вимірювалась у точках **A** та **B** на корпусі насосу.

Першим місцем вимірювання (точка **A**) був корпус масляної ванни підшипникового вузлу насосу. Вимірювання в цій точці проводилось в трьох напрямках: осьовому (*Z*), вертикальному (*Y*) та горизонтальному (*X*). Аналогічно в трьох напрямках проводились вимірювання в точці **B** – корпус всмоктуючого патрубку. Дана точка є найбільш легко доступною точкою для встановлення датчика вібрацій в умовах діючих аварійно рятувальних автомобілів.

Вимірювання вібрацій в зазначених місцях найбільш повно відображують вібрації, що передаються через вал тобто вібрації, які формуються в наслідок зношення валу, дисбалансу або пошкодження підшипникового вузлу. На рис. 2. наведено фотографії на яких показано розміщення датчиків вимірювання віброприскорень.

В основі методики є проведення серії експериментальних досліджень вібрацій пожежного насосу ПН-40 УВ підчас його роботи із наявністю відомого внутрішнього дефекту. Зазначені дослідження спрямовані на визначення закономірностей зміни вібраційних характеристик насосу внаслідок наявності того чи іншого дефекту. Відцентровий пожежний насос є складною динамічною системою наявність дефекту в якій змінює динамічну поведінку. Таким чином, порівняльний аналіз зміни у динаміці системи в порівнянні із еталоном надає можливість сформулювати ознаки прихованих дефектів у середині насосу, а отже дозволяє проводити діагностування його технічного стану.

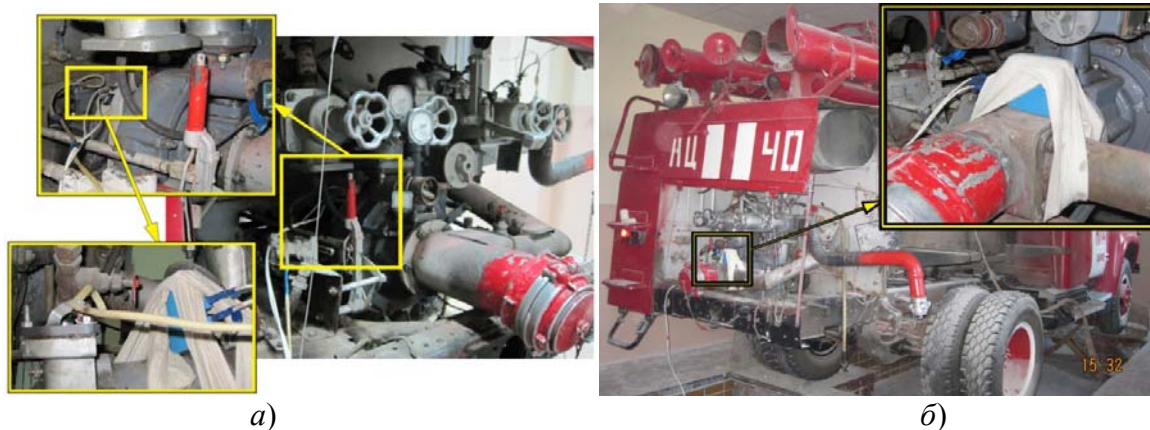


Рисунок 2 – Розміщення датчиків вібрацій на корпусі насоса  
 а) – біля масляної ванни підшипникового вузлу (точка **A**);  
 б) – біля всмоктувального патрубка (точка **B**);

До динамічних ознак, що супроводжують роботу насосу та формують його динамічну поведінку відносять спектри вібрацій, власні частоти та просторові форми коливань на яких відбувається вібрація.

Для аналізу впливу різних чинників в статті аналізувалась вібрація, що відбувається під час роботи насосу на специфічному режимі: робота насосу без вогнегасячої рідини всередині. Даний режим є зручним з точки зору практичного проведення діагностики та є мало навантаженим і не супроводжується сильною дією випадкових складових.

Усі отримані вібраційні сигнали аналізувались стосовно їх спектру через використання алгоритму процедури дискретного перетворення Фур'є із застосуванням сучасних програмних комплексів.

Окремої уваги заслуговує спектральний аналіз вібраційного сигналу під час прогонки насосу від холостого ходу до максимальної частоти обертання ротора. Для виявлення залежності спектру відгуку системи від частоти зовнішнього впливу (швидкості обертання ротора) зафіксований сигнал розбивався на окремі часові проміжки на кожному з яких проводилось визначення спектру відгуку через дискретне перетворення Фур'є. Далі відбувалась побудова карти (поля) зазначених результатів: по осям координат відкладались час зареєстрованого сигналу, що однозначно відповідає швидкості обертання ротора, а по другій осі частоти на якій відбувається вібрації насосу, а рівень амплітуди коливань на цих частотах відрізнявся кольором (найбільші амплітуди чорним кольором, а найменші – білим). Така процедура має назву віконного перетворення Фур'є, а отримана характеристика – спектрограмою.

Експериментальні дослідження вібрацій пожежного насосу ПН-40УВ із наявністю додаткового дисбалансу.

Найбільш простим випадком посилення вібрацій є дисбаланс. В роботі насосу часто дисбаланс виникає внаслідок потрапляння до робочого колеса насосу сторонніх предметів (каміння).

В даній роботі проводилось натурне моделювання потрапляння стороннього тіла із заданою масою до робочого каналу робочого колеса насосу. Для цього до робочого колеса насосу було приєднано додаткову масу (Рис. 3). Окремо проводилось моделювання із різними масами – 11 г. та 56 г. Відповідні значення було обрано, як характерне середнє та максимальне значення маси тіл, що можуть потрапити до робочого колеса.



Рисунок 3 – Фото установа до робочого колеса насосу додаткової маси, що імітує потрапляння стороннього тіла та викликає додатковий дисбаланс

На рис. 4 представлено спектри вібрацій насосу із додатковим дисбалансом 56г, який працює без води на частоті обертання ротора 2000 об/хв у точці В. Додатково на цьому ж рисунку зведено спектрограми прогонки насосу від 800 об/хв до 2100 об/хв.

Аналіз спектрів у порівнянні із вібрацією насосу без додаткового дисбалансу вказує на їх якісне співпадіння [3,4]. 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 Гц до 200 Гц.

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

Отже для експериментальних випробувань насосу із дисбалансом необхідно вимірювання лише загального рівня вібрацій у різних напрямках. На рис. 5 представлено залежності скз віброприскорень у різних напрямках від швидкості обертання ротора. На рисунках пунктирними лініями додано відповідні залежності скз для вібрацій насосу без додаткового дисбалансу.

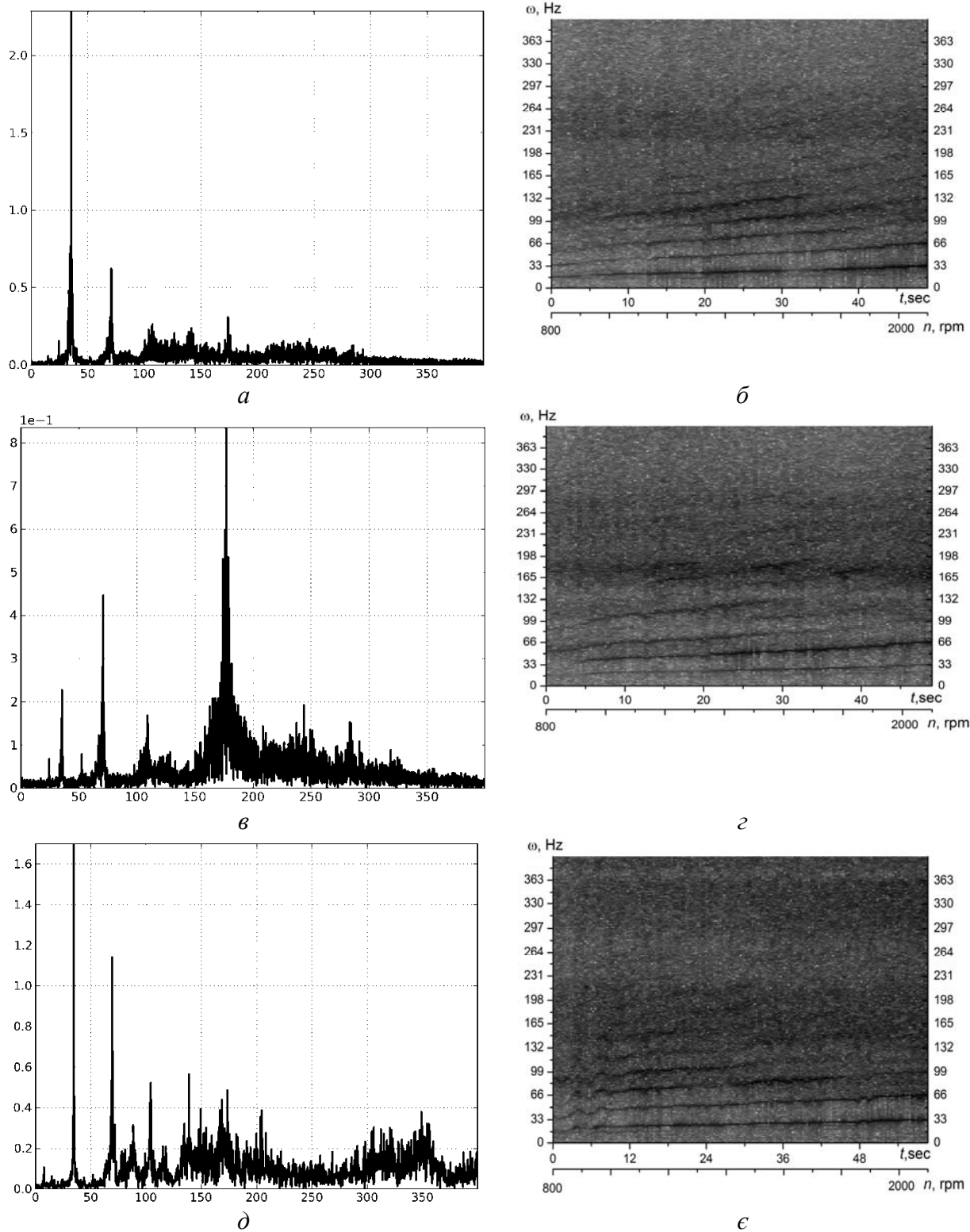


Рисунок 4 – Вібрації насосу у точці В із наявністю додаткового дисбалансу, що викликаний присутністю стороннього тіла масою 56 г. *a, в, д* – спектри сигналу віброприскорень  
*б, г, е* – поля змін спектрів (спектрограми) вібрацій при «прогонці» у вертикальному (*a, б*) осьовому (*в, г*) та горизонтальному (*д, е*) напрямках

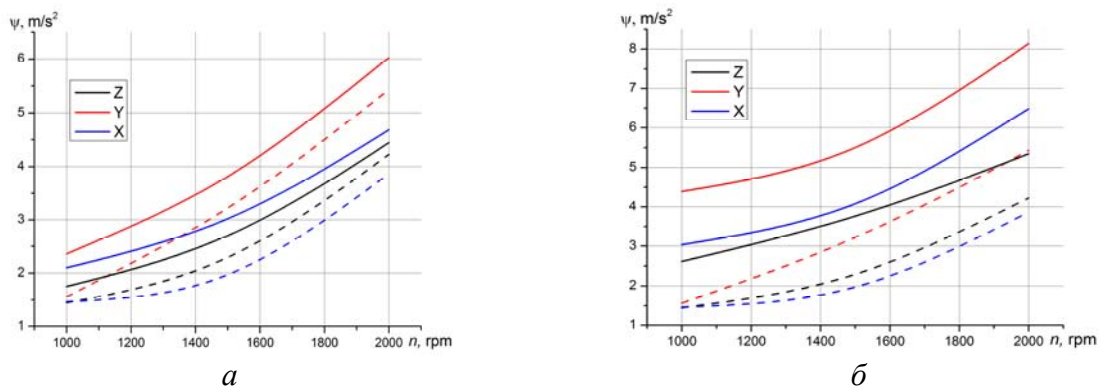


Рисунок 5 – Залежності скз віброприскорень вібрацій насосу у точці **В** із наявністю додаткового дисбалансу, що викликаний присутністю стороннього тіла масою (а) 11 г., (б) – 56 г.

Отримані залежності мають якісно той самий параболічний вид, що і залежності скз насосу без додаткового дисбалансу. Їх кількісний аналіз вказує на те, що підвищена вібрація найбільше формується у вертикально-горизонтальній площині (тим не менш підвищення вібрацій у осьовому напрямі також спостерігається).

На рис. 6 представлено просторову траєкторію вектору віброприскорення у точці **В** під час вібрацій насосу без води, але із додатковим дисбалансом 56г. Загальна картина якісно повторює результати вібрацій, що спостерігались при вібраціях насосу без додаткового дисбалансу [3, 4]. Усі проєкції траєкторії мають еліптичний характер. На проєкції траєкторії на площину YZ більша вісь еліпсу розташована під кутом до осьового напрямку (кут нахилу зберігається).

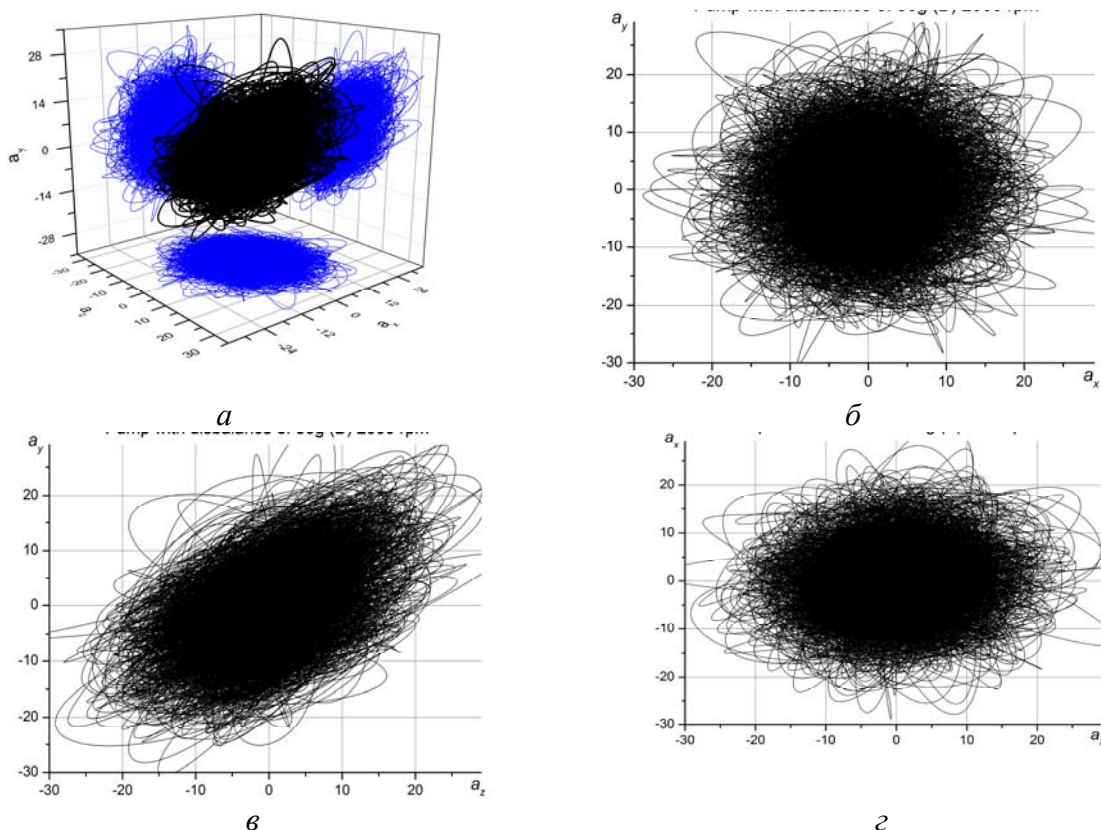


Рисунок 6 – Просторова траєкторія вектору віброприскорення при вібраціях у точці **В** насосу без води із наявністю додаткового дисбалансу  
а – траєкторія у просторі; б, в, з – проєкції траєкторій на площини XY, YZ та XZ.

Аналогічні результати було отримано при аналізі вібрацій у точці А. Спектри та спектрограми вібрацій у цій точці не наведені оскільки майже повторюють спектри вібрацій у точці А насосу, що працює на тому ж режимі але без додаткового дисбалансу. Кількісні результати у вигляді залежностей скз віброприскорень представлено на рис. 7.

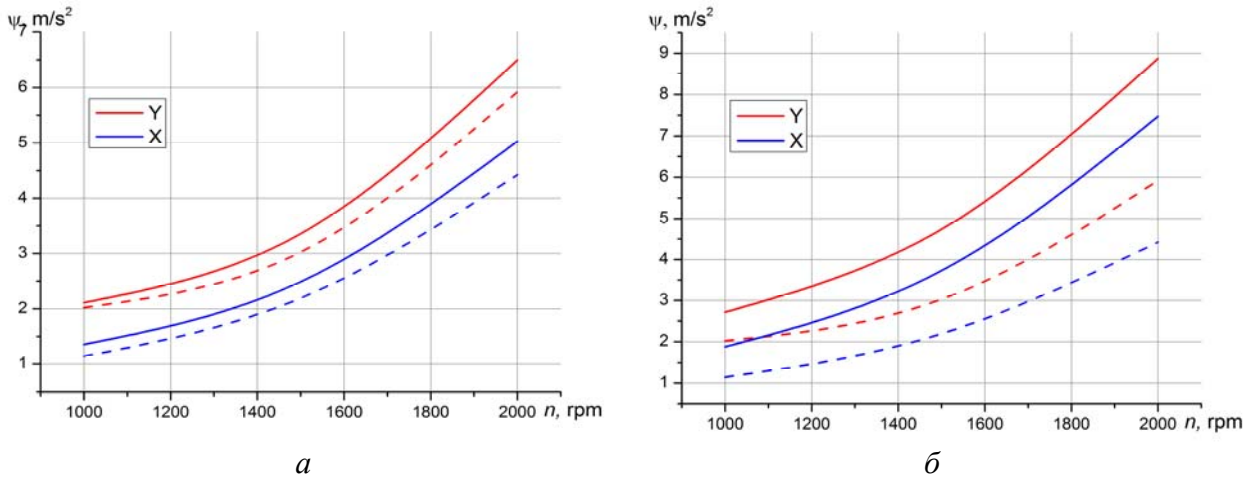


Рисунок 7 – Залежності скз віброприскорень вібрацій насосу у точці А із наявністю додаткового дисбалансу, що викликаний присутністю стороннього тіла масою (а) 11 г., (б) – 56 г.

Загальний рівень вібрацій у вертикальній площині (XY) у точках А та В представлено графічно у вигляді діаграми (рис. 8). Перші стовбики на діаграмі для точок А та В показують рівні вібрацій без додаткового дисбалансу.

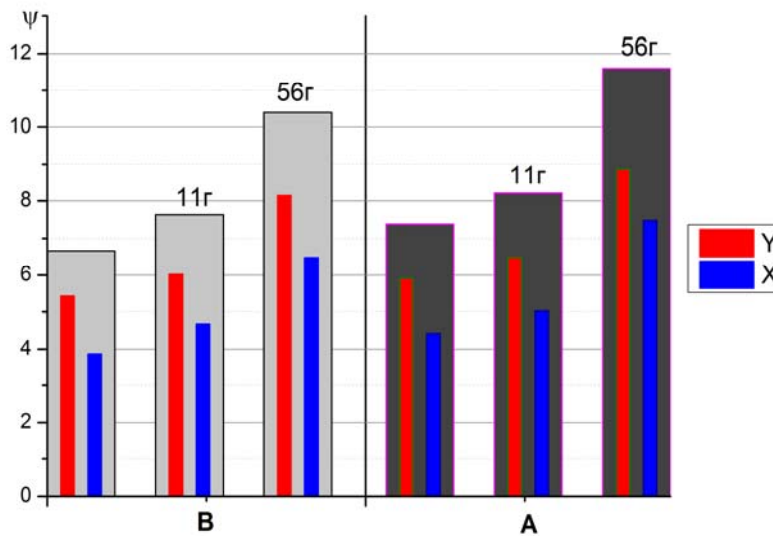


Рисунок 8 – Рівні вібрацій у вертикальній площині (XY) у точках А та В для насосу який працює без води та має додатковий дисбаланс

### Висновки.

Таким чином в роботі розглянуто експериментальні випробування відцентрового пожежного насосу для подачі вогнегасних речовин, який має внутрішній дефект, що проявляється у вигляді додаткового дисбалансу. Зазначені дослідження спрямовані на визначення закономірностей зміни вібраційних характеристик насосу внаслідок наявності цього дефекту. Порівняльний аналіз зміни у динаміці системи внаслідок виникнення дефекту надає можливість сформулювати його вібраційні ознаки, а отже дозволяє проводити діагностування його технічного стану.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Гуліда Е.М. Надійність технології гасіння пожежі на машинобудівних підприємствах / Гуліда Е.М., Мовчан І.О. // Наук. вісн. УкрНДІПБ. - Київ, 2004.- №2 (10). – С. 42 – 48.
2. Мовчан І.О. Reliability of technology of fire extinguishing at the machine-building enterprises / Гуліда Е.М., Мовчан І.О. // Матер. Міжнар. наук.-практ. конф. „Fire protection – 2004”. – Чехія: Технічний університет Острава, 2004. – С. 10 – 14
3. Ущапівський І.Л. Експериментальні дослідження вібрацій відцентрового пожежного насосу зі зношеними підшипниками / Ущапівський І.Л., Я.Б. Кирилів, Водка О.О., Ларін О.О. // Збірник наукових праць «ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА». – ЛДУ БЖД, № 23, 2013. – С. 158-166
4. Ущапивский И.Л. Экспериментальные исследования вибраций центробежного пожарного насоса с ослабленной посадкой вала в подшипниках / Ларин А.Н., Ларин А.А., Водка А.А., Ущапивский И.Л // Теоретическая и прикладная механика. – В. 29.. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2014. – С. 166 – 172
5. Водка А.А. Виброизмерительный комплекс на основе микроэлектромеханического сенсора / А.А. Водка, А.И. Трубаев, Ю.Н. Ульянов // Вісник Східноукраїнського Національного університету ім. В. Даля. – Луганськ, 2012.– № 9 (180). Ч.1. – С. 140-147.

