

УДК 614.846.35:534.1

Я.Б. Кирилів, к.т.н, с.н.с., І.Л. Ущапівський,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВІДЦЕНТРОВИХ ПОЖЕЖНИХ НАСОСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІБРАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ

В роботі розглянуто експериментальні випробування відцентрового пожежного насоса для подачі вогнегасних речовин, який має послаблення кріплення до рами автомобіля. Зазначені дослідження спрямовані на визначення закономірностей зміни вібраційних характеристик насоса внаслідок наявності цього дефекту. Порівняльний аналіз зміни у динаміці системи із еталоном надає можливість сформувати ознаки прихованого дефекту у середині насоса, а отже дозволяє проводити діагностування його технічного стану.

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

Постановка проблеми. 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 вихід з ладу пожежно-технічного обладнання різного характеру та складності. При цьому серед них майже 75% технічні проблеми із насосною установкою, де майже половина це проблеми безпосередньо пов'язані із відцентровим пожежним насосом. 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.

Крім того, деякі дефекти здатні проявлятися негативним чином на тактико-технічних характеристиках роботи насоса (наприклад зменшувати напір), що також негативно відбивається на ефективності його роботи. Так, на рис. 1 представлено залежність напору насоса від його витрати для різних рівнів технічного стану.

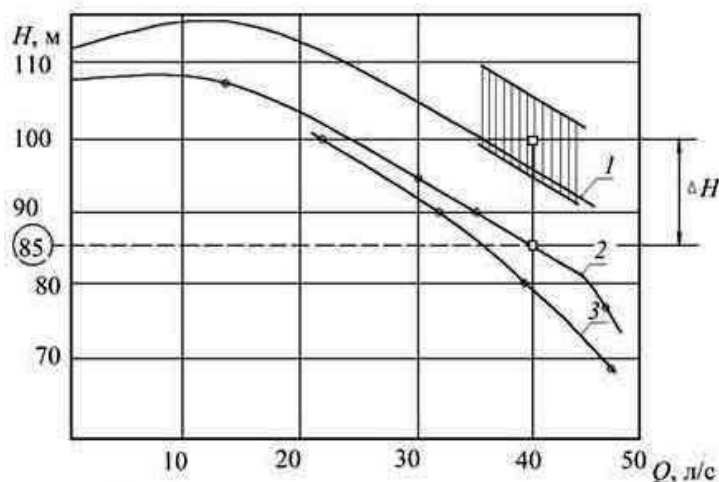


Рисунок 1 – Характеристика насоса (ПН-40УВ) із різним технічним станом, де: 1 – справний насос; 2, 3 – насос зношений.

Аналіз останніх досягнень 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 технічних обслуговувань для конкретних насосів дозволила б підвищити ефективність відповідних методик.

Досвід експлуатації насосів вказує на характерні несправності відцентрових насосів, які супроводжують його експлуатацію. Узагальнюючи експертні дані, можна окреслити, що до найбільш поширених несправностей (рис. 2) відносяться: послаблення кріплення насоса до рами автомобіля, несправності у підшипниковому вузлі, засмічення або пошкодження робочого колеса, поява кавітаційних режимів роботи та втрата герметичності.



Рисунок 2 – Характерні несправності елементів пожежного насоса.

Окрім цього слід відмітити, що практика експлуатації насосів вказує, що дефекти, які призводять до виходу із ладу насосів зазвичай, призводять до підвищення вібраційного рівня (рис. 2), що супроводжує його роботу. Отже, застосування вібраційної діагностики, як інструменту визначення технічного стану відцентрових пожежних насосів є ефективним інструментарієм [3, 4].

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є експериментальні випробування відцентрового пожежного насоса. Відповідні дослідження дозволяють визначити характерні особливості вібрацій насоса, що є еталонними та дають змогу шляхом порівняння із аналогічними характеристиками вібрацій насоса із пошкодженнями та дефектами визначити діагностичні критерії та ознаки.

Серед усіх відцентрових пожежних насосів, що використовуються під час ліквідації надзвичайних ситуацій найбільш поширеними є насоси серії ПН-40УВ(А). Інші насоси є зазвичай більш спеціалізованими, проте геометрично та конструктивно є подібними до ПН-40УВ та 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 насоса.

В рамках даного дослідження проводили аналіз результатів комплексного вібраційного обстеження насоса, який має послаблення кріплення на несучій рамі. При цьому фізично моделювались різні ситуації послаблення, тобто із різним ступенем послаблення.

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». 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 ємнісним та дозволяє проводити заміри віброприскорень із амплітудами в діапазоні 0,5 до 40 м/с² та в частотному діапазоні від 1 до 400 Гц. Габаритні розміри: ширина 75, висота 80, товщина 30 мм «Ультра-В-І» має дійсне свідоцтво про Державну метрологічну атестацію і дозволяє проводити вимірювання віброприскорень у точці конструкції.

Вимірювання проводились в точці на корпусі насоса – на всмоктуючому патрубку. Дана точка є найбільш легкодоступною точкою для встановлення датчика вібрацій в умовах діючих аварійно-рятувальних автомобілів. Вимірювання в цій точці проводилось в трьох напрямках: осьовому (Z), вертикальному (Y) та горизонтальному (X). На рис. 3. наведено фотографію на якій показано розміщення датчика вимірювання віброприскорень.



Рисунок 3 – Розміщення датчика вібрацій на корпусі насоса.

В основі методики є проведення серії експериментальних досліджень вібрацій пожежного насоса ПН-40УВ під час його роботи із наявністю відомого внутрішнього дефекту. Зазначені дослідження спрямовані на визначення закономірностей зміни вібраційних характеристик насоса внаслідок наявності того чи іншого дефекту. До динамічних ознак, що супроводжують роботу насоса та формують його динамічну поведінку і 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 насоса на специфічному режимі: робота насоса із водою без її подачі. Даний режим є зручним з точки зору практичного проведення діагностики бо є найбільш динамічно навантаженим.

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 насоса 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 осях координат відкладались час зареєстрованого сигналу, що однозначно відповідає швидкості обертання ротора, а по другій осі частоти на якій відбуваються вібрації насоса, 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.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Підвищена вібрація насоса може бути викликана послабленням його посадки на несучій рамі. Насос ПН-40УВ кріпиться до несучої рами за допомогою чотирьох болтових з'єднань, розташування та введена нумерація яких показано на тривимірній геометричній моделі (рис. 4).

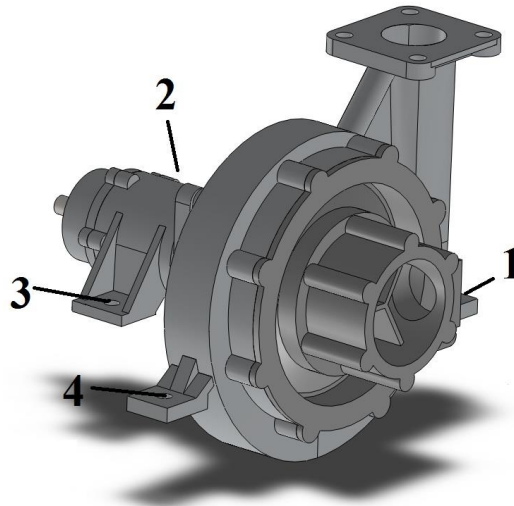


Рисунок 4 – Розташування та нумерація болтових з'єднань, якими закріплений насос ПН-40УВ до несучої рами, де: 1, 2, 3, 4 – отвори для болтових з'єднань.

В даній роботі проводили натурні дослідження зміни вібрацій насоса із послабленими кріпленнями до основи (несучої рами). Дослідження склались із серії експериментів під час яких вібрацію справного насоса вимірювали при роботі із різними комбінаціями відпущених болтів. Так було змодельовано декілька варіантів:

- 1) відпущено один болт: 1-й болт;
- 2) відпущено один болт: 4-й болт;
- 3) відпущено два болти: 1-й та 2-й;
- 4) відпущено два болти: 2-й та 3-й;
- 5) відпущено два болти: 1-й та 4-й;
- 6) відпущено три болти: 1-й, 2-й та 3-й;
- 7) відпущено всі чотири болти: 1-й, 2-й, 3-й та 4-й.

Останній варіант не означає вільне положення насоса оскільки він по-перше з'єднаний із валом, а по-друге, і що є найбільш важливо, з'єднаний із корпусом аварійно-рятувального автомобіля через жорстку трубопровідну систему.

Спектрограми вібраційних сигналів, що були зареєстровані під час вібрацій насоса із різними комбінаціями послаблень болтових кріплень представлені на рис. 5.

Теоретично спектральний аналіз є дуже важливим за цього виду послаблення, оскільки послаблення кріплень призводить до появи додаткових зазорів які під час вібрацій

внаслідок взаємних співударів корпусу насоса і рами здатні викликати дрібно-кратні частоти (в першу чергу 0,5 кратності основної частоти). Проте отримані експериментальні дані вказують, що вібрація пожежного насоса ПН-40УВ із будь-якою комбінацією відпущених болтових кріплень на найбільш динамічно навантаженому режимі не викликає появи у спектрах дрібних гармонік. Більше того спектральні картини є дуже близькими до спектрів вібрацій насосу без дефектів.

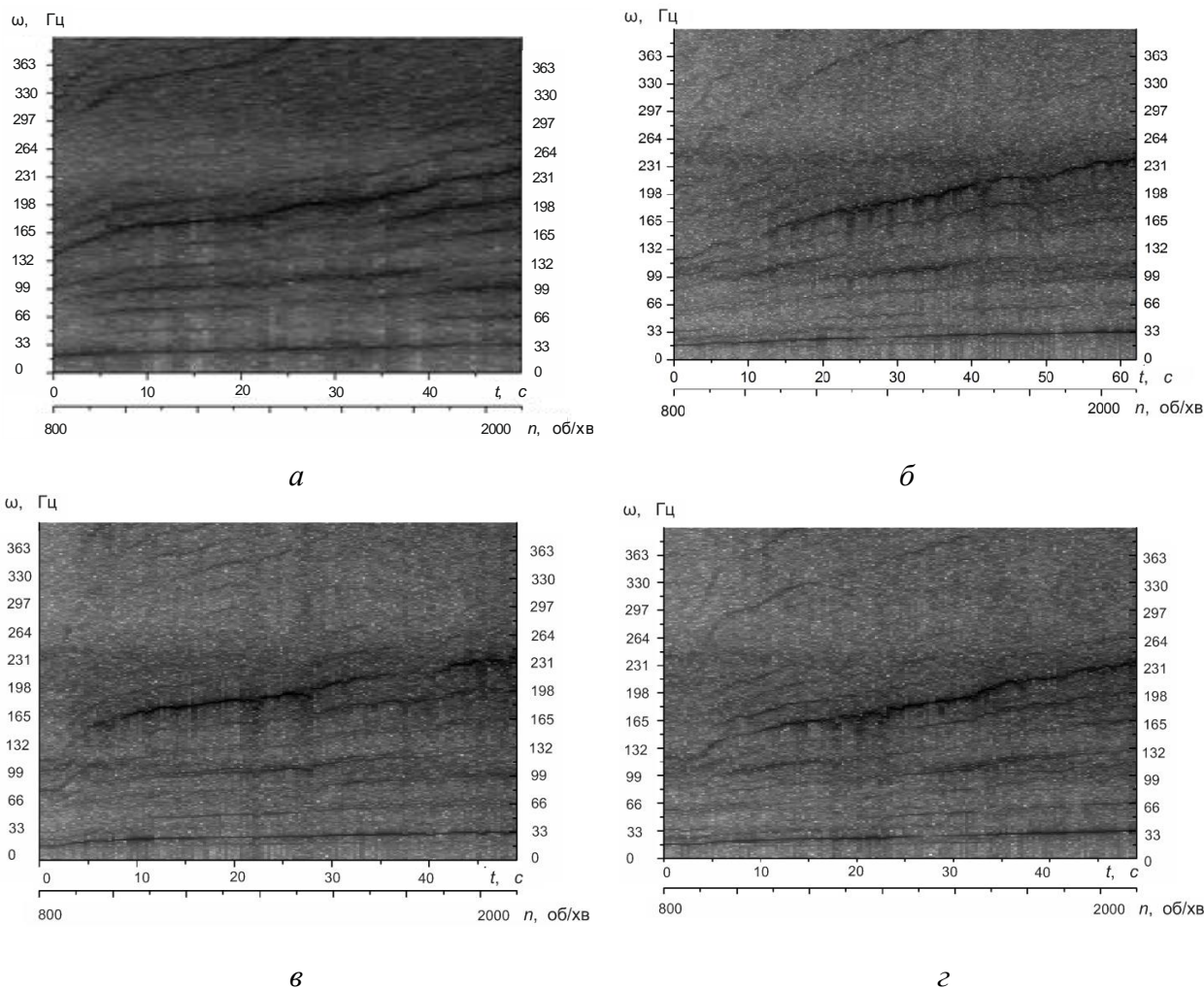


Рисунок 5 – Спектрограми вібрацій у вертикальному напрямі у точці насоса: *а* – без послаблення, *б*, *в*, *г* – послаблення за схемами «1», «2, 3» та «1, 2, 3».

Можна було також очікувати зміни власних частот насоса, але резонансні зони, що проявляються є досить широкими у діапазонах частот від 100 до 135 Гц та від 160 до 260 Гц і помітної зміни у положенні або ширині зазначених зон не виявлено.

Отже, найбільш корисним у діагностиці послаблення болтових кріплень є кількісний аналіз. На рис. 6 представлено залежності середньоквадратичного значення (СКЗ) віброприскорення від швидкості обертання ротора у вертикальному та осьовому напрямках із наявністю послаблення болтових кріплень із одним відпущеним болтом у різних варіантах. Пунктирною лінією представлено СКЗ віброприскорення вібрацій насоса на тому ж режимі, але без дефектів. Аналізуючи отримані результати можна побачити, що наявність послаблення призводить до деякого збільшення вібрацій особливо у осьовому напрямі, проте збільшення не є великим. Більш небезпечним є послаблення 4-го болта порівняно із 1-м, що легко пояснюється конструктивними особливостями насоса, який із сторони першого болтового кріплення має жорстке з'єднання трубопроводів на всмоктувальному патрубку.

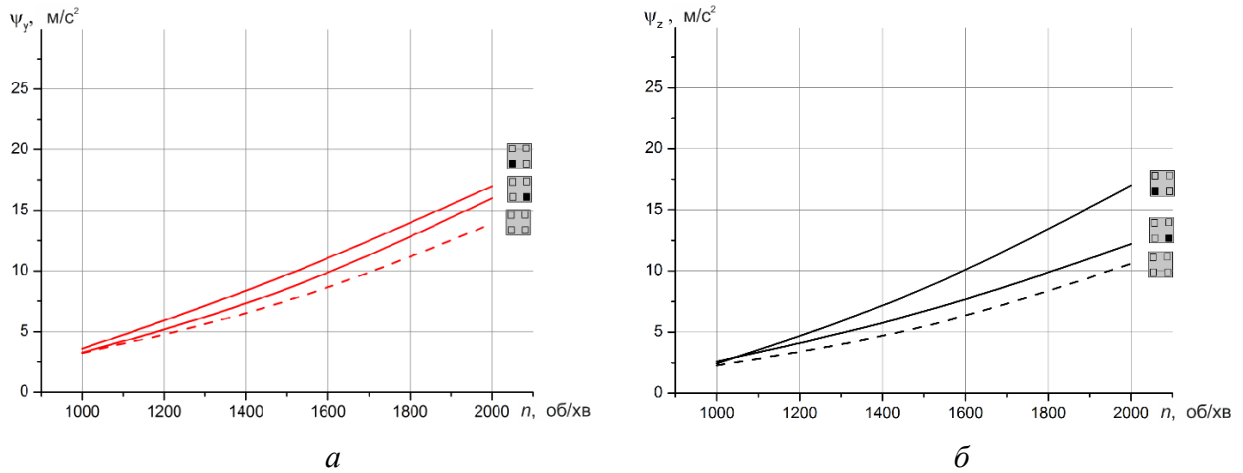


Рисунок 6 – Залежності СКЗ віброприскорення у вертикальному (а) та осьовому (б) напрямках із наявністю послаблення у болтових з’єднаннях.

Наступним аналіз проводився для вібрацій насоса на тому ж режимі але із послабленням одразу двох і більше болтових з’єднань у різних комбінаціях. Результати представлені на рис. 7. Результати вказують на те, що відпущення одразу двох і більше болтових з’єднань призводить до суттєвого збільшення вібраційного рівня у понад два рази. Найбільші вібрації спостерігаються у вертикальному напрямі.

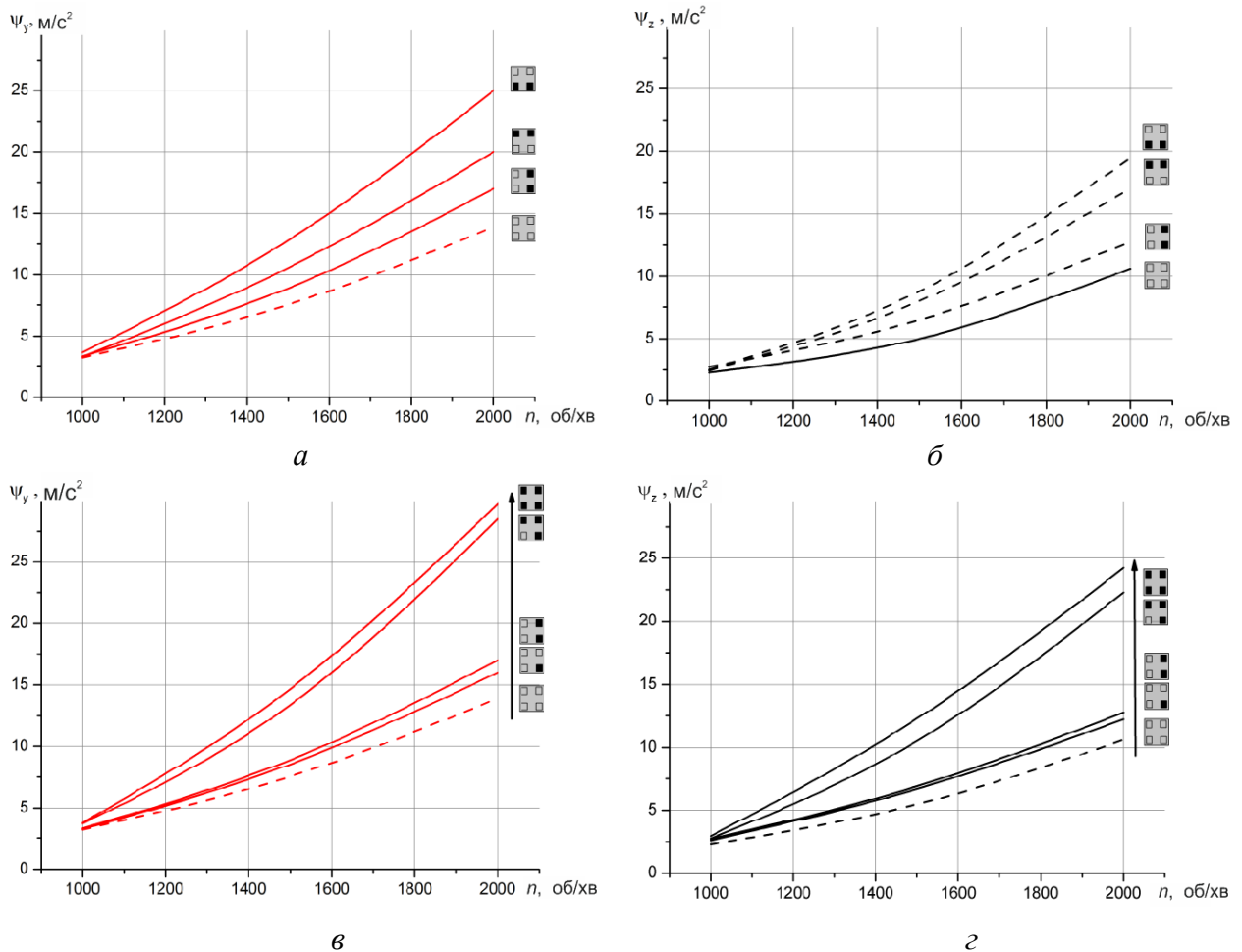


Рисунок 7 – Залежності СКЗ віброприскорення у вертикальному (а, в) та осьовому (б, г) напрямках із наявністю послаблення у двох і більше болтових з’єднаннях.

Висновки. В роботі проведено експериментальні випробування відцентрового пожежного насоса для подачі вогнегасних речовин, який має дефекти типу послаблення кріплення насоса до рами автомобіля. Зазначені дослідження спрямовані на визначення закономірностей зміни вібраційних характеристик насоса 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.

Перспектива подальших досліджень. Метою подальших досліджень є розроблення ефективної методики діагностування відцентрових пожежних насосів для виявлення несправностей та своєчасного їх усунення. Крім того, дана методика повинна забезпечувати уникнення зайвих розбирань цих насосів, що дасть в кінцевому результаті економити кошти на ремонтах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуліда Е.М. Надійність технології гасіння пожежі на машинобудівних підприємствах / Е.М. Гуліда, І.О. Мовчан // Наук. вісн. УкрНДПБ. – Київ, 2004. – №2 (10). – С. 42 – 48.
2. Мовчан І.О. Reliability of technology of fire extinguishing at the machine-building enterprises / І.О. Мовчан, Е.М. Гуліда // Матер. Міжнар. наук.-практ. конф. „Fire protection – 2004”. – Чехія: Технічний університет Острава, 2004. – С. 10 – 14.
3. Експериментальні дослідження вібрацій відцентрового пожежного насоса зі зношеними підшипниками / І.Л. Ущипівський, Я.Б. Кирилів, О.О. Водка, О.О. Ларін // Збірник наукових праць «Пожежна безпека». – ЛДУ БЖД, № 23, 2013. – С. 158 – 166.
4. Экспериментальные исследования вибраций центробежного пожарного насоса с ослабленной посадкой вала в подшипниках / А.Н. Ларин, А.А. Ларин, А.А. Водка, И.Л. Ущипивский // 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.