

Я.Б. Кирилів¹, канд. техн. наук, ст. наук. спіроб., І.Л. Ущанівський²
(¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
²Головне управління ДСНС України у Львівській області)

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПОЖЕЖНОГО НАСОСА В ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗА ВІБРАЦІЙНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Розглянуто методи визначення технічного стану відцентрових пожежних насосів, що дають змогу оцінити їх залишковий ресурс, надійність, визначити наявність пошкоджень та ступінь їх впливу на тактико-технічні характеристики та ефективність їх застосування. Серед методів діагностики найбільш поширеними є електромагнітні, теплові (термодинамічні) та віброакустичні. Вібраційні методи є основою діагностики працюючого устаткування. На їх основі розроблена методика проведення технічної діагностики відцентрових пожежних насосів за вібраційними показниками та порядок її застосування в системі технічного обслуговування пожежних автомобілів.

Ключові слова: технічний стан, відцентрові пожежні насоси, методи діагностики, вібраційні показники, методика

Я.Б. Кырылив, И.Л. Ущанивский

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЖАРНЫХ НАСОСОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО ВИБРАЦИОННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Рассмотрены методы определения технического состояния центробежных пожарных насосов, позволяющие оценивать их остаточный ресурс, надежность, определять наличие повреждений и степень их влияния на тактико-технические характеристики и эффективность их применения. Среди методов диагностики наиболее распространены электромагнитные, тепловые (термодинамические) и виброакустические. Вибрационные методы являются основой диагностики работающего оборудования. На их основе разработана методика проведения технической диагностики центробежных пожарных насосов с вибрационными показателями и порядок ее применения в системе технического обслуживания пожарных автомобилей.

Ключевые слова: техническое состояние, центробежные пожарные насосы, методы диагностики, вибрационные показатели, методика

Ya.B. Kyryliv, I.L. Uschapivsky

DEFINITIONS OF TECHNICAL DEVELOPMENT METHOD STATE FIRE PUMP IN OPERATION INDICATORS FOR VIBRATING

The methods of determining the technical condition of centrifugal fire pumps, allowing to assess its residual life, reliability, detect damage and the extent of their influence on the performance characteristics of the pump and the efficiency of its use. Among the most common diagnostic methods are electromagnetic, thermal (thermodynamic) and vibroacoustic. Vibration diagnostic methods are the basis of working equipment. On this basis, developed methods of technical diagnostics centrifugal fire pumps on vibration parameters and procedure for applying the system of maintenance of fire fighting vehicles.

Key words: technical condition, centrifugal fire pumps, diagnostic methods, vibration performance, technique

Вступ. Сьогодні на озброєнні ДСНС знаходиться більше 4 тис. одиниць пожежної техніки. З них понад 65 % – це автоцистерни, які експлуатуються більше 20 років. Встановлені на них відцентрові насоси вже майже вичерпали свій проектний ресурс. Така ситуація призводить до того, що існує висока ймовірність наявності в відцентрових насосах прихованих дефектів, які здатні вивести з ладу насоси та знизити ефективність роботи підрозділів під час оперативних дій з ліквідації пожеж.

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. Така ситуація здатна істотно впливати 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 своєчасне визначення технічного стану відцентрових пожежних насосів, що даватиме змогу проводити оцінку його залишкового ресурсу, надійності, визначати наявність пошкоджень та ступінь їх впливу на тактико-технічні характеристики насоса та ефективність його застосування.

Серед методів діагностики найбільш поширеними є електромагнітні [2-4], теплові (термодинамічні) [2, 3, 5, 6] та віброакустичні [7-9].

В цілому можна відзначити, що вібраційні методи є основою діагностики працюючого устаткування. Отже, застосування віброакустичних методів, а саме вібраційних, для діагностування відцентрових насосів є раціональним методом контролю, оскільки дає змогу оцінити його стан на даний момент і прогнозувати його через деякий час врахувавши вплив вібрації.

Мета роботи. Метою роботи є розробка методики проведення технічної діагностики відцентрових пожежних насосів за вібраційними показниками та порядок її застосування в системі технічного обслуговування пожежних автомобілів.

Постановка задачі та її розв'язання. Розглянуті у цій роботі дослідження в комплексі дають змогу зробити певне узагальнення результатів та запропонувати методику проведення технічної діагностики відцентрових пожежних насосів. Ідея цієї діагностики полягає у аналізі динаміки зміни характеристик вібрацій насоса, починаючи з його введення в експлуатацію і до моменту списання. Такий моніторинг дасть змогу відстежувати поточний технічний стан відцентрових пожежних насосів та динаміку його зношення. З метою організації моніторингу пропонується ввести до формуляру пожежного автомобіля додаток обліку поточного технічного стану відцентрового пожежного насоса. Перший запис робиться в момент першого пуску насоса, усі наступні слід проводити під час планових ТО (з регулярністю один раз на рік для насосів, що знаходяться в експлуатації менше 5 років та кожні півроку – для насосів, які мають більший термін роботи. Рекомендацією до позачергового обстеження є погіршення тактико-технічних характеристик в експлуатації, виявлення під час огляду підвищеного рівня температури у підшипниковому вузлі, збільшення шуму тощо).

Випробування слід проводити для відцентрових насосів, які встановлені на справному автомобілі. Перед початком досліджень візуально перевіряють стан: сполучних елементів трубопроводів вакуумної системи і водяних комунікацій; ущільнюючих елементів вентилів, засувок, кранів; елементів кріплення агрегатів і приладів (тахометра, манометра, вакуумметрів тощо); цистерни і пінобака. У разі виявлення дефектів або несправностей, які можуть вплинути на достовірність наступних випробувань, їх негайно усувають (або враховують).

Вимірювання вібраційних показників слід проводити на основі вібровимірювальних комплексів, які дають змогу вимірювати вібрацію, щонайменше у двох напрямках в точці тіла. Вимірювальна апаратура повинна попередньо бути метрологічно повіреною, мати свідоцтво про Державну метрологічну атестацію та задовольняти таким вимогам:

- вимірювати віброприскорення у діапазоні зміни амплітуд від 1 до 40 м/с²;
- вимірювати віброприскорення у діапазоні зміни частот починаючи від 10 Гц та з верхньою межею не меншою за 300 Гц;
- щільність шуму датчика не повинна перевищувати $0,1 \frac{\text{мм/с}^2}{\sqrt{\text{Гц}}}$
- маса датчика, який встановлюється, повинна бути <200 г.

Датчик необхідно встановлювати на верхній частині всмоктувального патрубку насоса або на корпусі масляної ванни підшипникового вузла насоса. Контрольне вимірювання можна проводити додатково на напірному патрубку.

Під час вимірювань необхідно забезпечити чітку фіксацію частоти обертання вала насоса. Реалізація цієї вимоги може бути досягнута використанням тахометра, який дає змогу фіксувати значення частоти обертання вала в межах 800-3000 об/хв та із похибкою не більше ± 50 об/хв. Робота вібровимірювального комплексу та тахометра має бути синхронізованою.

Алгоритм кожної окремої перевірки такий:

- на встановленому на аварійно-рятувальний автомобіль насосі розміщується вібровимірювальна апаратура;
- проводяться експериментальні вимірювання вібрацій насоса на режимі «без води» у трьох напрямках;
- за отриманими даними розраховуються с.к.з. віброприскорень по кожному напрямку;
- проводиться розрахунок параметра вібронавантаженості (визначення загального вібраційного рівня)

$$\psi_j = \sqrt{\psi_{jx}^2 + \psi_{jy}^2 + \psi_{jz}^2}, \quad (1)$$

де ψ_x, ψ_y, ψ_z – середньоквадратичне значення у горизонтальному, вертикальному та осьовому напрямках відповідно;

- отримані дані фіксуються у протоколі (вносяться у додаток формуляра пожежного автомобіля щодо обліку поточного технічного стану насоса);
- визначається відносне значення зміни с.к.з. віброприскорень по кожному напрямку та параметру вібронавантаженості, яке вводиться як відношення значення параметра вібронавантаженості, що розраховані під час цього дослідження, до значень цього параметра, що були розраховані під час попереднього обстеження

$$\bar{\psi} = \frac{\psi_j}{\psi_{j-1}}, \quad (2)$$

$$\bar{\psi}_x = \frac{\psi_{xj}}{\psi_{xj-1}}, \quad \bar{\psi}_y = \frac{\psi_{yj}}{\psi_{yj-1}}, \quad \bar{\psi}_z = \frac{\psi_{zj}}{\psi_{zj-1}}. \quad (3)$$

- окремо необхідно визначити відносне значення зміни середньоквадратичного значення віброприскорень по кожному напрямку та параметру вібронавантаженості відносно початкових значень;
- на основі отриманих даних обирається найгірший варіант, для якого проводиться розрахунок показника рівня технічного стану насоса;
- використовуючи номограми визначаються функціональні та тактичні можливості застосування насоса із наявним технічним станом;

- проводяться експериментальні вимірювання вібрацій насоса на режимі «нагрівання» по трьох напрямках;
- за отриманими даними розраховується середньоквадратичне значення віброприскорень по кожному напрямку та параметру вібронавантаженості (визначення загального вібраційного рівня);
- дані щодо середньоквадратичних значень віброприскорень по різних напрямках та параметр вібронавантаженості фіксуються у протоколі (вносяться у додаток формуляра пожежного автомобіля щодо обліку поточного технічного стану насоса);
- проводиться процедура визначення спектрів зареєстрованих віброприскорень по всіх трьох напрямках (засобами комп'ютерної обробки отриманих сигналів);
- відповідно до комплексу отриманих даних, проводиться процедура діагностування наявності суттєвого дефекту або несправності насоса (графічно зазначена схема представлена на рис. 1), а саме:

1. якщо спектр вібрацій насоса є регулярним, відносно значення загального рівня вібрацій не має суттєвого збільшення, а також не має суттєвого збільшення будь-якої із складових вібрацій, то цей насос є у задовільному стані із рівнем технічного стану, що визначався на попередньому етапі (*під "суттєвим" розуміється збільшення більш ніж на 30% у порівнянні до попереднього та/або початкового*);

В усіх інших випадках застосування цієї насосної установки є не надійним і потребує проведення ремонтних робіт.

2. якщо у спектрі вібрацій було виявлено гармоніки із кратністю 1,6 та/або 3,6 від робочої частоти обертання вала, то формується підозра про пошкодження підшипникового вузла;

3. якщо у спектрі вібрацій було виявлено наявність кратних гармонік до робочої частоти обертання вала, то формується підозра про проблеми у підшипниковому вузлі при цьому:

- a) у разі наявності ще й гармонік із кратністю 1,6 та/або 3,6 від робочої частоти обертання вала то це пошкодження підшипника;
- b) якщо ця ознака супроводжується істотним збільшенням вібрацій в осьовому напрямі, то це просадка (зношення) вала;

4. якщо спектр є регулярним проте наявне істотне збільшення вертикальної складової вібрацій, то це проблеми з кріпленням насоса на рамі;

5. якщо спектр є регулярним проте наявне істотне збільшення одночасно вертикальної та горизонтальної складових вібрацій, то є підозра про проблеми з робочим колесом насоса (може бути його засмічення, пошкодження лопатей, збільшення радіального зазору, виникнення турбулентності в роботі тощо);

6. якщо спектр вібрацій є регулярним та немає істотного відносного збільшення будь-якої із складових вібрацій окремо, але наявне суттєве збільшення загального рівня вібрацій, то необхідно констатувати неможливість діагностики конкретного дефекту, але можна стверджувати, що є технічна проблема (у т.ч. і не з насосом).

Висновок. Розроблено методику визначення технічного стану відцентрового пожежного насоса за вібраційними показниками та порядок її застосування в системі технічного обслуговування пожежних автомобілів. Методика передбачає проведення випробувань насоса, який встановлено на аварійно-рятувальному автомобілі без його розбирання. На першому етапі проводиться випробування насоса без води. Визначаються вібрації по різних напрямках та загальний вібраційний рівень. На основі порівняння отриманих результатів з попередніми даними проводяться розрахунки відносних значень вібрацій, що дає змогу оцінити залишковий технічний рівень відцентрового пожежного насоса. На основі отриманих даних формується технічний припис. На другому етапі виконуються експериментальні випробування у режимі роботи насоса «нагрів», що є більш навантаженим. Отримані сигнали аналізують додатково на спектральний склад вібрацій, що може надати точнішу інформацію про наявність прихованих дефектів. На підставі отриманих результатів приймається рішення про проведення ремонтних робіт або продовження експлуатації в поточному стані.

МЕТОДИКА

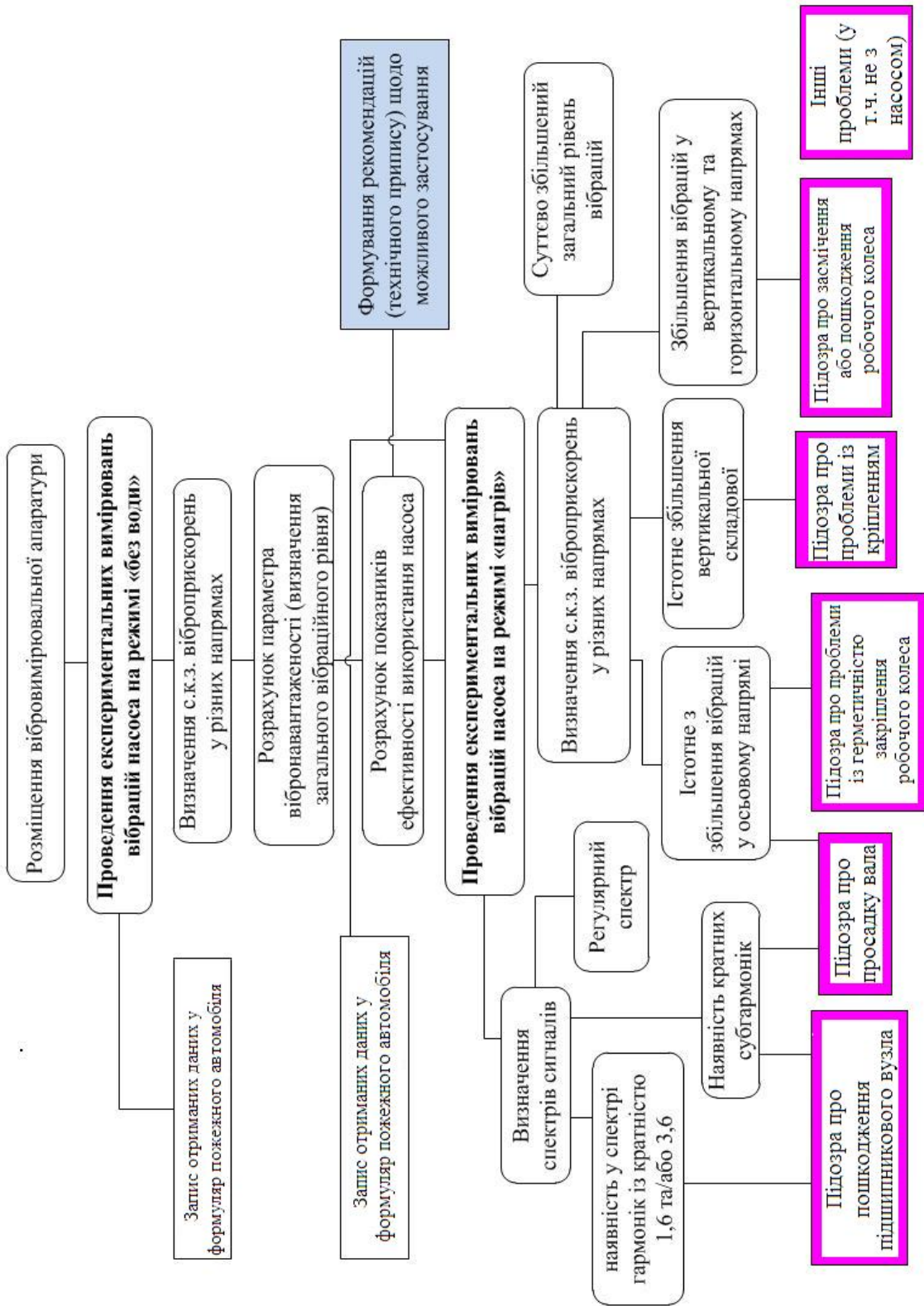


Рисунок 1 – Схема методики проведення вібраційної діагностики технічного стану відцентрових пожежних насосів

Список літератури

1. Ущапівський І. Л. Вплив надійності роботи пожежних насосів на ефективність роботи підрозділів ДСНС / І. Л. Ущапівський // Інформаційні технології : наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXII Міжнар. наук.-практ. конф. – Х. : НТУ«ХПІ», 2014. – Ч. I. – С. 79.
2. Неразрушающий контроль и диагностика : Справочник / Клюев В. В., Соснин Ф. Р., Филинов В. Н. и др. Под ред. В.В. Клюева – М. : Москва, Машиностроение, 1995. – 488 с.
3. Мозгалеvский А. В. Техническая диагностика / А. В. Мозгалеvский, Д. В. Гаскаров – М : Высшая школа, 1975. – 207 с.
4. Галлямов И.И. Магнито- и вибролокация дефектов нефтепромысловых трубопроводных коммуникаций и оборудования. Дисс. на соиск. ст. докт. техн. наук: спец. 05.04.07. – Уфа: УГНТУ. – 2000. – 283 с.
5. Говорущенко Н. Я. Диагностика технического состояния автомобилей / Н. Я. Говорущенко. – М. : Транспорт, 1970. – 256 с.
6. Канарчук В. С. Безконтактная тепловая диагностика машин / В. С. Канарчук, А. Д. Чигиринец – М. : Машиностроение, 1987. – 160 с.
7. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф. Я. Балицкий, М. А. Иванова, А. Г. Соколова, Е. И. Хомяков. – М. : Наука, 1984. – 120 с.
8. Генкин М. Д., Соколова А. Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
9. Гольдин А. С. Вибрация роторных машин: – 2-е изд. исправл. – М. : Машиностроение, 2000 – 344 с.

References

1. Uschapivsky, I.L. (2014) "Impact reliability of fire pumps the efficiency of the units DSNS". *Informatsiini tekhnolohii : nauka, tekhnika, tekhnolohia, osvita, zdorovia. Tezy dopovidei XXII Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* [Information technology : science, engineering, technology, education, health. Abstracts of Intern XXII. scientific-practic. Conf.], Kh. : NTU«KhPI», 2014. – Part I. – P 79.
2. *Nerazrushaiushchii kontrol i diagnostika : Spravochnik* [Nondestructive testing and diagnostics: Reference]. Kliuiev, V.V., Sosnin, F.R., Filinov, V.N. and other (1995). Ed. by V.V. Kliuiev, Mashynostroenie, Moscow, Russia.
3. Mozhalevskii, A.F. and Gaskarov D.V. (1975), *Tekhnicheskaiia diagnostika* [Technical Diagnostics], Vyshaya shkola, Moscow, USSR.
4. Galliamov, I.I. (2000), "Magnetic and vibrolokatsiya defects oilfield pipe lines and equipment". Thesis for Doct. Sc. (Engineering). 05.04.07, Ufa State Oil Technical University, Ufa, Russia.
5. Govorushchenko, N.Ya. (1970), *Diagnostika tehnicheskoho sostoiania avtomobilei* [Diagnostics of technical condition of vehicles], Transport, Moscow, USSR.
6. Kanarchuk, V.E. and Chigirinets, A.D. (1987), *Bezkontaktnaia teplovaia diagnostika mashyn* [Contactless thermal diagnostics of machines], Mashynostroenie, Moscow, USSR.
7. *Vibroakusticheskaiia diagnostika zarozhdaiushchikhsia defectov* [Vibroakusticheskyy diagnosis of incipient defects]. Balytskii, F.Ya., Ivanova, M.A., Sokolova, A.G. and other (1984), Nauka, Moscow, USSR.
8. Genkin, M.D. and Sokolova, A.G. (1987), *Vibroakusticheskaiia diagnostika mashyn i mekhanizmov* [Vibroacoustic diagnosis of machinery], Mashynostroenie, Moscow, USSR.
9. Goldin, A.S. (2000), *Vibratsia rotornykh mashyn* [The vibration of rotating machines], 2nd ed. corrected, Mashynostroenie, Moscow, Russia.

