

Ларін О.М.¹, Чигрин В.В.¹, Ларін О.О.²

Діагностика технічного стану кріплень пожежного насосу по спектрам його вібрацій

*Ларін Олександр Миколайович, доктор технічних наук, професор
Чигрин Вадим Володимирович, ад'юнкт*

*Ларін Олексій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент
¹ Національний університет цивільного захисту України, м. Харків*

² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Анотація: В рамках даного дослідження пропонуються аналіз результатів експериментальних досліджень вібраційного обстеження насосу, що має послаблення свого кріплення на утримуючій рамі. При цьому фізично моделювались різні ситуації послаблення кріплення: з різним ступенем послаблення та різною просторовою формою. Дослідження проводились на діючому насосі, що був встановлений на аварійно-рятувальному автомобілі. За результатами аналізу експериментальних даних встановлено, що суттєве збільшення вібрацій насосу у частотному діапазоні (350–400) Гц можна розглядати як критерій послаблення болтового кріплення насосу до рами автомобіля.

Ключові слова: Пожежний насос, вібродіагностика, послаблення болтових кріплень.

Пожежний насос аварійно-рятувального автомобіля є важливим елементом, що забезпечує функціональні можливості даного спеціалізованого транспортного засобу. Серед основних вимог, що висуваються до автомобільних пожежних насосів є вимоги по технічним характеристикам тактико-технічним показникам, вартості обслуговування, а також вимога по надійності роботи. Реалізації призначення аварійно-рятувального автомобіля звичайно залежить від безвідмовності роботи його спеціальних елементів. Отже, вимога надійності є однією з найважливіших вимог, що висуваються до автомобільних пожежних насосів.

Ресурс пожежного насосу аварійно-рятувального автомобіля, закладається заводом-виробником на етапі його проектування і на підставі статистики, що мається по насосам-аналогам. Разом з тим, для кожного конкретного насосу ресурс, зрозуміло, визначається великим числом експлуатаційних факторів.

Таким чином, в залежності від умов роботи пожежні насоси спроможні використати свій ресурс значно скоріше ніж це, вважалось на етапі їх проектування. В цьому разі важливою та актуальною науково-практичною задачею стає питання формування обґрунтованих рекомендацій на проведення процедур з оцінки технічного стану елементів пожежного насосу, що знаходиться у експлуатації, та прогноз його залишкового ресурсу.

У сучасній практиці експлуатації насосів діє система планово-попереджувальних ремонтів, яка передбачає ремонтне обслуговування у відповідності до наперед визначеного графіку, що призводить, з одного боку, до недовикористання ресурсу насосних агрегатів при проведенні ще непотрібних за їх технічним станом ремонтів, а з іншого, не дає гарантії їх безаварійної роботи в міжремонтний період.

Один з дійових напрямків вирішення цієї проблеми полягає в широкому застосуванні методів та засобів технічної діагностики, що дозволить перейти на якісно новий рівень промислової експлуатації обладнання, який дає значну економію матеріальних та людських ресурсів, а саме – за його фактичним технічним станом. Таким чином, створення ефективних систем діагностики та впровадження їх у промисловість є актуальною задачею.

Основні автомобільні пожежні насоси є відцентровими, тобто для подачі вогнегасячої рідини робочі органи насосу повинні відтворювати обертальні рухи на високих кутових швидкостях. Зазначена обставина робить автомобільні пожежні насоси високо динамічними системами, як результат на корпусі насосу відбувається високого рівні вібрація. При цьому, слід зазначити, що погіршення технічного стану насосів у першу чергу призводить до підвищення його вібрацій. Ця особливість може бути ефективно використана як критерій технічного стану, тобто за параметрами вібрацій насоса під час його роботи можна діагностувати його поточний стан та прогнозувати залишковий ресурс. Класична вібродіагностика проводиться за загальним рівнем вібрацій проте існує практична потреба у більш детальному аналізі вібрацій з тим аби визначити конкретну несправність або її частину насосу, що потребує заміни чи ремонту.

Серед характерних несправностей, що призводять до підвищеного рівня вібрацій насосу є прояв дисбалансу, послаблення посадки валу в підшипниковому вузлі та послаблення кріплення насосу на рамі. Дисбаланс може реалізовуватись в наслідок поломок робочих лопатей відцентрового колеса або через потрапляння стороннього тіла у канал робочого колеса. Послаблення посадки валу у підшипниках реалізується внаслідок зношування робочих поверхонь валу, що спосте-

рігається за тривалої експлуатації або занадто інтенсивної роботи насоса. Додатковою причиною інтенсивного зношування валу є дії вібрацій насосу, що відбувається, наприклад, внаслідок дисбалансу або послаблення кріплення.

В рамках даного дослідження пропонуються аналіз результатів експериментальних досліджень комплексного вібраційного обстеження насосу, що має послаблення свого кріплення на утримуючій рамі. При цьому фізично моделювались різні ситуації послаблення кріплення: з різним ступенем послаблення та різною просторовою формою.

Експериментальні дослідження проводились із використанням вимірювального комплексу «Ультра-В-І» [1, 2], який розроблений на кафедрі динаміки та міцності машин Національного технічного університету «Харківський політехніч-

ний інститут» (м. Харків, Україна). Вимірювальний комплекс складається із: датчика віброприскорень, що оснащений мікроелектромеханічним ємнісним сенсором; аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та портативного комп'ютера. «Ультра-В-І» має дійсне свідоцтво про Державну метрологічну атестацію і дозволяє проводити вимірювання віброприскорень у точці конструкції за двома напрямками. Додатково під час випробувань вводився другий датчик, що має аналогічний сенсор та дозволяє паралельно проводити вимірювання у сусідній точці конструкції. Таким чином вимірювання проводились одночасно у двох точках конструкції по двом напрямкам у кожній. Вимірювальний комплекс дає можливість фіксувати вібрації з частотного діапазону від 1 до 400 Гц.



Рис. 1. Експериментальні дослідження вібрацій пожежного насосу на діючому аварійно-рятувальному автомобілі



Рис. 2. Вимірювальний комплекс «Ультра-В-І» під час експериментальних досліджень

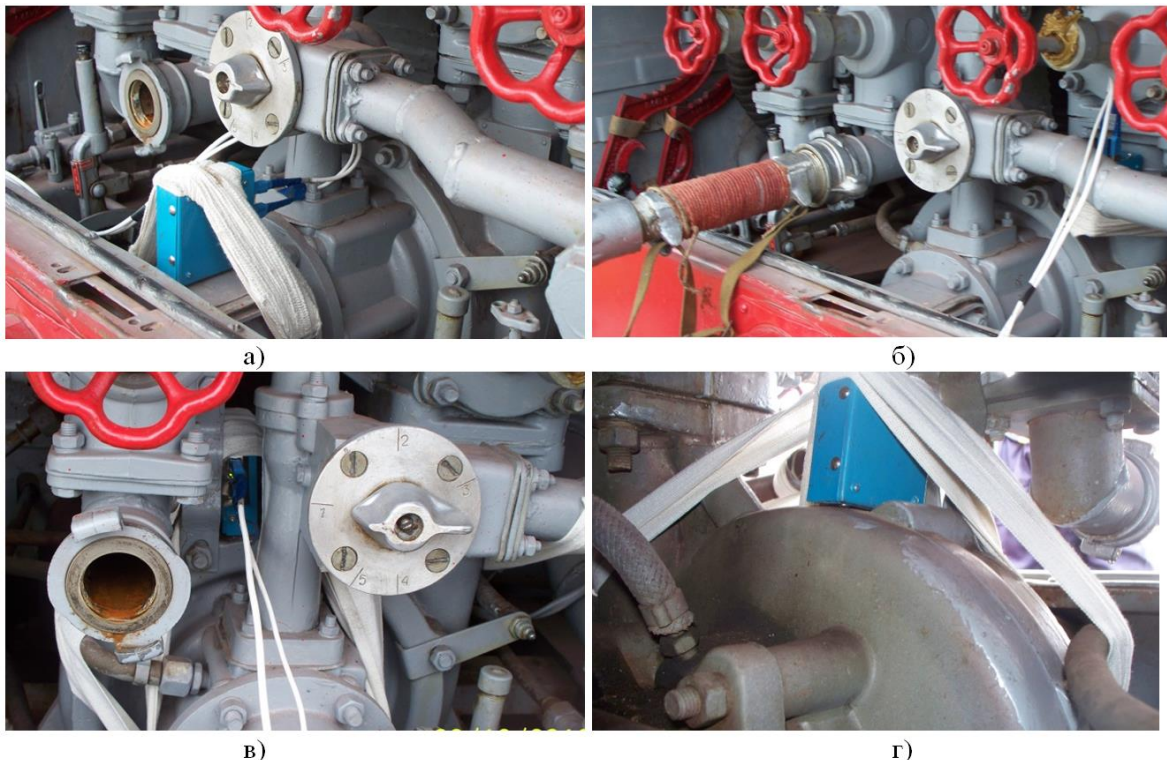


Рис. 3. Розміщення датчиків по різних точках корпусу пожежного насосу для замірів його вібрацій

Дослідження проводились на діючому насосі, що був встановлений на аварійно-рятувальному автомобіля (рис. 1). Під час вимірювань датчик вібрацій встановлювався на корпусі насоса. Далі через кабель датчик був під'єднаний до АЦП і комп'ютера (рис. 2). Для подальшого детального

аналізу вібрацій заміри проводились в декількох точках на корпусі насосу: на всмоктувальному патрубку (рис. 3,а), на вихідному патрубку (рис. 3,б) та у верхній частині робочої камери насосу (рис. 3,в,г).

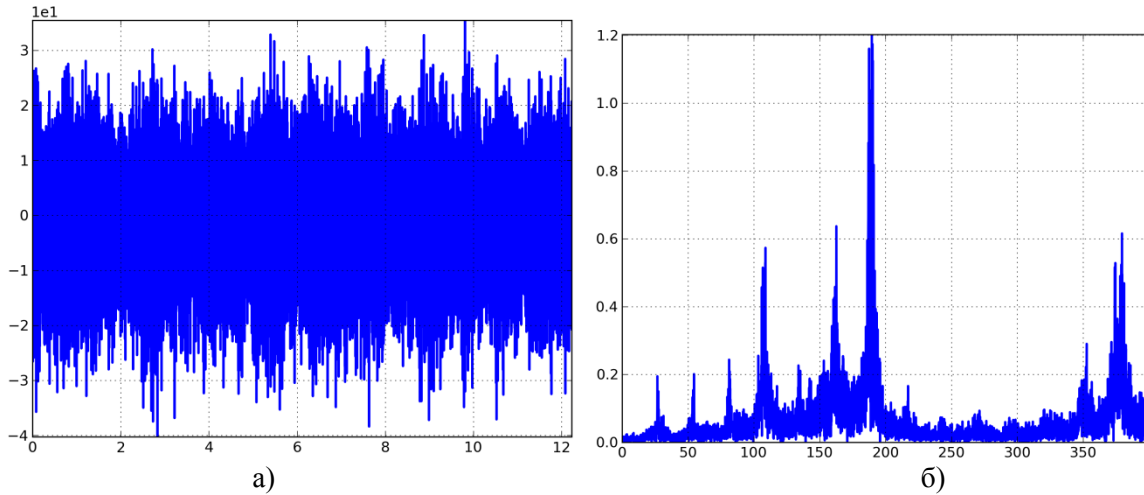


Рис. 4. Вібрації (а) та їх спектр (б) при натурних випробування насосу, що працює на номінальних обертах (1500 об/хв.)

Проведені заміри по вібраціях насосу у справному стані представлені на рис. 4,а. На рис. 4, б спектр даного сигналу отриманий за алгоритмом швидкого перетворення Фур'є. Аналіз даного спектру вказує на наявність серії гармонік, що є кратними до частоти обертання ротора (1500 об/хв = 25 Гц). Слід відмітити про сильне домінування старших кратностей частоти обертання ротора, так найбільші амплітуди спостерігають-

ся навколо частот 200 Гц, 150 Гц, 100 Гц та 375 Гц. Зазначені частоти є 8, 6, 4 та 15 кратностями. Наявність у спектрі високих кратностей частоти обертання пояснюється наявністю турбулентних кавітаційних процесів за лопатками робочого колеса насосу, а також певною зношеністю підшипникових вузлів.

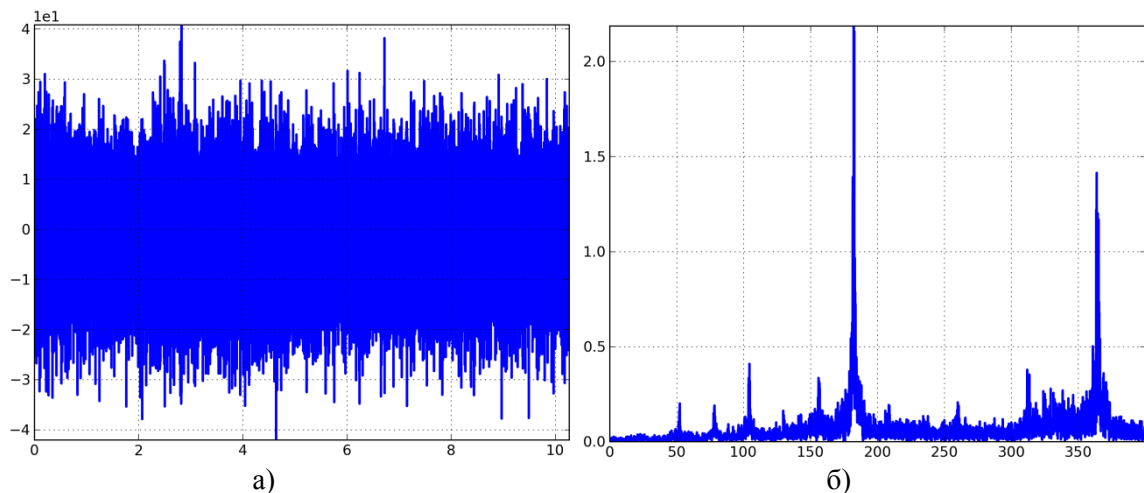


Рис. 5. Вібрації (а) та їх спектр (б) при натурних випробування насосу, який має послаблення у одному з болтових кріплень (насос працює на номінальних обертах (1500 об/хв.))

Аналогічно заміри проводились для випадку насоса, що має послаблення одного з чотирьох болтових кріплень, що мають утримувати насос на рамі. Результати цих замірів наведені на рис. 5. На рис. 6 представлені відповідні результати для випадку послаблення одразу у двох болто-

вих з'єднаннях кріплення. Аналіз спектрів вібрацій насоса із послабленням кріплення вказує на істотне домінування двох частот 175 Гц та 375 Гц. При чому більша гармоніка отримує більше значення амплітуд із послабленням кріплення. Таке явище можна пояснити наявністю в

системі резонансу в діапазоні частот (350 – 400) Гц. Відповідна власна форма коливань є формою вібрації корпусу насоса, а отже її частота суттєво залежить від жорсткості кріплення. Із послабленням болтових з'єднань відповідна власна частота зменшується і система потрапляє у навко-

ло резонансні рухи. Таким чином, суттєве збільшення вібрацій насосу у частотному діапазоні понад 350 Гц можна розглядати як критерій послаблення болтового кріплення насосу до рами автомобіля.

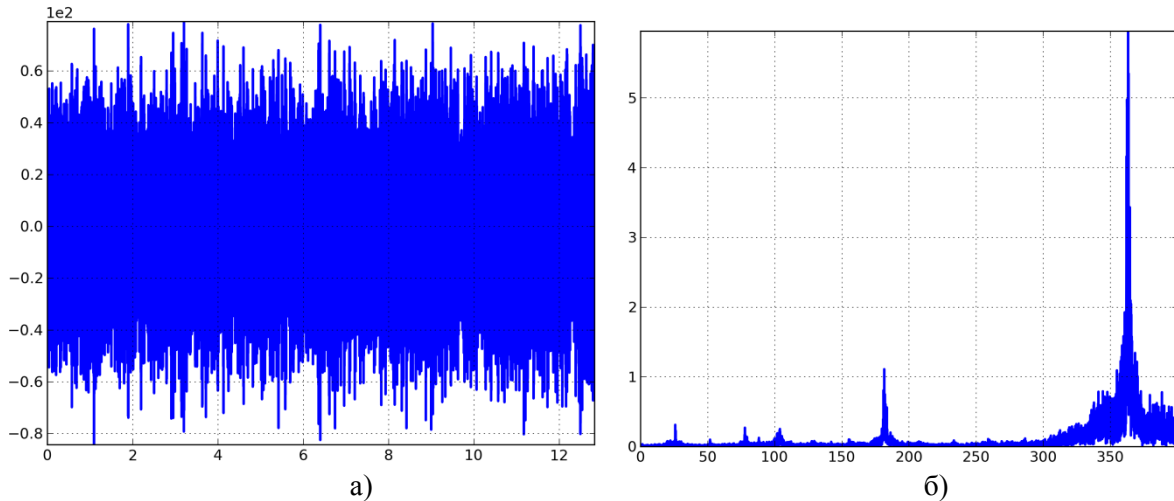


Рис. 6. Вібрації (а) та їх спектр (б) при натурних випробування насосу, який має послаблення одночасно у двох болтових кріпленнях (насос працює на номінальних обертах (1500 об/хв.))

Висновки. В даній роботі представлено проблему технічної діагностики пожежного насосу, що встановлений на аварійно-рятувальному автомобілі, за його вібраційними показниками. Представлено результати експериментальних досліджень вібрацій насосу, що проводились на

діючому зразку. Експериментальні випробування проводились із додатковим фізичним моделюванням послаблення кріплення насосу на рамі. Аналіз спектрів вібрацій дозволив визначити критерії технічної діагностики кріплення насосу.

Література

1. 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.
2. Ульянов Ю.Н. Комплекс для измерения виброускорений на основе микроэлектромеханического сенсора / А.А. Водка, А.И. Трубаев, Ю.Н. Ульянов // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», Євпаторія, 3-8 травня 2012 р. – 2012. – С. 191.

Larin O.M., Larin O.O., Chygrin V. V.

A diagnosis of the technical state of the supports of fire pump by the spectra of its vibrations

Abstract: Fire pump of the emergency vehicle is an important element that provides the functionality of this specialized car. Among the main requirements for the fire pump is the requirement of its reliability. Fire pump life-time is set by the manufacturer company at the design stage and on the basis of statistics. However, for each particular pump its life-time, of course, determined by a large number of operational factors. Thus, depending on the operating conditions fire pumps could more intensively used up its life time. In this case, an important actual scientific task will be a problem of formation of reasonable recommendations on the procedures for assessing of the technical state of the elements of fire pump in service. Common fire pumps are centrifugal, i.e. a fire-extinguishing liquid is pushed out by the working bodies, which have a rotation motion with high angular velocity. This circumstance makes the car fire pumps highly dynamic system, so pumps have a high level of vibrations. It should be noted that the performance decrement of pump results in magnification of the level of vibrations. This could be effectively used as a criterion of assessment of technical condition, i.e. the parameters of pump vibration could be used for the purpose of diagnosis of the current technical state and predict the residual life-time. This study presents an analysis of the results of experimental investigations of pump vibration which has weakened supports of the pump with the holding frame. Here, physically modelled different situations with varying of the level of weakness. The studies were carried out on a pump that was installed on specialized vehicles. Experiments were carried out on the base of a measurement system "Ultra-V-I", which has been developed at the Department of the dynamics and strength of machines of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Kharkov, Ukraine). The measuring system consists of: vibration acceleration sensor, which is equipped with

a MEMS sensor, analogue-to-digital converter and a portable computer. "Ultra-V-I» has a valid certificate of state metrological certification and allows to make a measurement of vibration acceleration at the point of investigated object on two directions. Analysis of the experimental data shows that a substantial increasing in the vibrations at the frequency range (350-400) Hz can be considered as a criteria of reduced bolted support of the pump.

Keywords: fire pump, vibration monitoring, weakened of bolting supports.

Ларин А.Н., Ларин А.А., Чигрин В.В.

Диагностика технического состояния крепления пожарного насоса по спектрам его вибраций

Аннотация: Пожарный насос аварийно-спасательного автомобиля является важным элементом, который обеспечивает функциональные возможности данного специализированного транспортного средства. Среди основных требований, предъявляемых к автомобильным пожарным насосам, является требование по надежности. Ресурс пожарного насоса, закладывается заводом-изготовителем на этапе его проектирования и на основании статистики, имеется по насосам-аналогам. Вместе с тем, для каждого конкретного насоса ресурс, разумеется, определяется большим числом эксплуатационных факторов. Таким образом, в зависимости от условий работы пожарные насосы способны выбрать свой ресурс интенсивнее. В этом случае важной и актуальной задачей становится вопрос формирования обоснованных рекомендаций на проведение процедур по оценке технического состояния элементов пожарного насоса, находящегося в эксплуатации. Основные автомобильные пожарные насосы являются центробежными, то есть для подачи огнетушащей жидкости рабочие органы насоса должны воспроизводить вращательные движения на высоких угловых скоростях. Указанное обстоятельство делает автомобильные пожарные насосы высоко динамическими системами, а как следствие на корпусе насоса происходят вибрации высокого уровня. При этом следует отметить, что ухудшение технического состояния насосов в первую очередь приводит к повышению его вибраций. Эта особенность может быть эффективно использована в качестве критерия технического состояния, то есть по параметрам вибраций насоса во время его работы можно диагностировать его текущее состояние и прогнозировать остаточный ресурс. В рамках данного исследования предлагается анализ результатов экспериментальных исследований комплексного вибрационного обследования насоса, который имеет ослабление своего крепления на удерживающей раме. При этом физически моделировались различные ситуации ослабления крепления: с различной степенью ослабления. Исследования проводились на действующем насосе, который был установлен на аварийно-спасательном автомобиле. Экспериментальные исследования проводились с использованием измерительного комплекса «Ультра-В-I», который разработан на кафедре динамики и прочности машин Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» (г. Харьков, Украина). Измерительный комплекс состоит из: датчика виброускорений, который оснащен микроэлектромеханических емкостным сенсором; аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и портативного компьютера. «Ультра-В-I» имеет действительное свидетельство о государственной метрологической аттестации и позволяет проводить измерения виброускорений в точке конструкции по двум направлениям. По результатам анализа экспериментальных данных установлено, что существенное увеличение вибраций насоса в частотном диапазоне (350-400) Гц можно рассматривать как критерий ослабления болтового крепления насоса к раме автомобиля.

Ключевые слова: Пожарный насос, вибродиагностика, ослабленное болтовое крепление.