

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Т.А. Ефремова, С.С. Щеголев

Обработаны результаты исследований партии асинхронных двигателей. Построены спектры и диаграммы для двигателей насосов, в частности, спектр исправного агрегата, прямой низкочастотный спектр, спектры насоса и огибающей насоса в высокочастотной области. Получены диаграммы дефектов электрооборудования и их распределение по типу неисправности, а также минимальное, среднее и максимальное значения числа дефектов, распределение дефектов по клетям электродвигателя в единицах и процентах. Произведен расчет средне-квадратичных значений виброскорости электродвигателя на входе, выходе устройства и определено значение виброскорости на насосе. Показано, что вибродиагностика электродвигателей позволяет диагностировать не только механические дефекты: подшипников, муфт, но и электрические дефекты привода: проблемы в питающей сети, состояние обмотки, железа. Даны рекомендации по устранению проблем и неисправностей.

Ключевые слова: дефект; асинхронный двигатель; спектр сигнала; метод спектрального анализа; диаграмма дефектов.

АСИНХРОНДУК КЫЙМЫЛДАТКЫЧТАРДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫК ИЗИЛДӨӨНҮН ЖЫЙЫНТЫКТАРЫН ИШТЕП ЧЫГУУ

Т.А. Ефремова, С.С. Щеголев

Бул макалада асинхрондук кыймылдаткычтардын партиясын изилдөөнүн жыйынтыктары иштелип чыкты. Насостордун кыймылдаткычтары үчүн спектрлер жана диаграммалар, тактап айтканда, тейленүүчү агрегаттын спектри, түз жыштыктагы спектр, насостун спектрлери жана насостун конверттери жогорку жыштыктагы аймакта курулган. Электр жабдууларынын кемтиктеринин диаграммалары жана бузулуулардын түрлөрү боюнча бөлүштүрүлүшү, ошондой эле кемтиктердин санынын минималдуу, орточо жана максималдуу мааниси, электр кыймылдаткычынын кемтиктеринин бирдиктер жана пайыздар боюнча бөлүштүрүлүшү алынды. Электр кыймылдаткычынын киришиндеги жана прибордун чыгуусундагы термелүүнүн ылдамдыгынын, насостогу термелүүнүн ылдамдыгынын орточо-квадраттык маанилеринин эсеби жүргүзүлдү. Электр кыймылдаткычтарынын дирилдөө диагностикасы механикалык кемчиликтерди гана эмес: подшипниктерди, муфталарды, ошондой эле жетектин электрдик кемчиликтерин: камсыздоо тармагындагы көйгөйлөрдү, ороонун абалын, темирди диагностикалоого мүмкүндүк берери көрсөтүлгөн.

Түйүндүү сөздөр: кемтик; асинхрондук кыймылдаткыч; спектр сигналы; спектралдык талдоо жүргүзүү ыкмасы; кемчиликтер диаграммасы.

PROCESSING OF THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDY FOR ASYNCHRONOUS MOTORS

T.A. Efremova, S.S. Shchegolev

The article processes the results of studies for a batch of asynchronous motors. Spectra and diagrams for pump motors are constructed, in particular, the spectrum of a serviceable unit, the direct low-frequency spectrum, the spectra of the pump and the pump envelope in the high-frequency region. Diagrams of electrical equipment defects and their distribution by type of malfunction, as well as the minimum, average and maximum values of the number of defects, the distribution of defects across the motor stands in units and percentages are obtained. The calculation of the RMS values of the vibration velocity of the electric motor at the input and output of the device and the value of the vibration velocity at the pump is performed. It is shown that vibration diagnostics of electric motors allows diagnosing not only mechanical defects: bearings, couplings, but also electrical defects of the drive: problems in the supply network, the state of the winding, iron. Recommendations for troubleshooting problems and malfunctions are given.

Keywords: defect; asynchronous motor; signal spectrum; spectral analysis method; defect diagram.

Важной составляющей процесса эксплуатации асинхронных двигателей является проведение диагностических испытаний. Цель – получение значений параметров работы двигателя и выявление отклонений от нормального режима [1, 2]. Для более наглядного представления результатов построены диаграммы и спектры.

На рисунке 1 представлен спектр исправного агрегата до выявления проблем с сетью питания. Поскольку на частоте 50 и 100 Гц нет никаких посторонних гармоник, можно сделать вывод, что электродвигатель исправен.

На рисунке 2 представлен прямой низкочастотный (до 800 Гц) спектр из программы DREAM 4.4, насоса NP10.1.

Гармонические ряды, кратные удвоенной частоте сети 50 Гц, и равные 100 Гц, прости-

раются до средних и высоких частот. Признак дефекта, питающей сети – перекося фаз, скачки напряжения. На прямом спектре вибрации гармонические ряды модулируются на частоте вращения 24,5 и 50 Гц. Это является признаком проблем в питающей двигателя сети [3].

На рисунке 3 представлен спектр насоса NP10.3.

Поскольку наблюдается вибрация на двойной частоте питающего напряжения (100 Гц), можно сделать вывод о том, что присутствует несимметрия напряжения питания.

На рисунке 4 представлен спектр насоса NP 10.6 с большим разрешением и применением полосового фильтра.

На рисунке 5 представлен спектр огибающей насоса NP 10.6 в высокочастотной области.

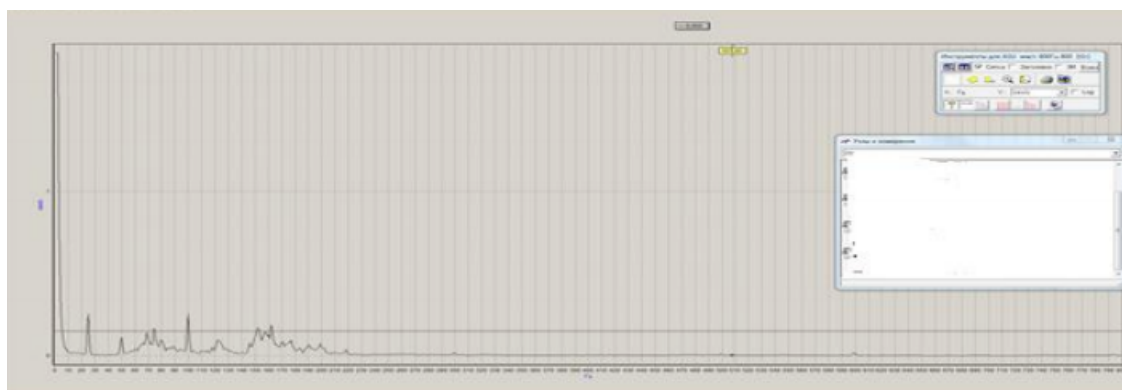


Рисунок 1 – Спектр исправного агрегата



Рисунок 2 – Прямой низкочастотный (до 800 Гц) спектр



Рисунок 3 – Спектр насоса NP10.3

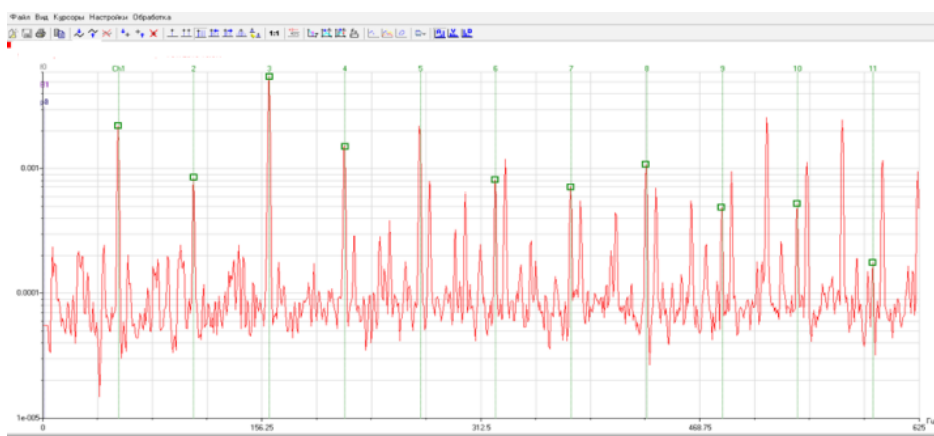


Рисунок 4 – Спектр насоса NP 10.6

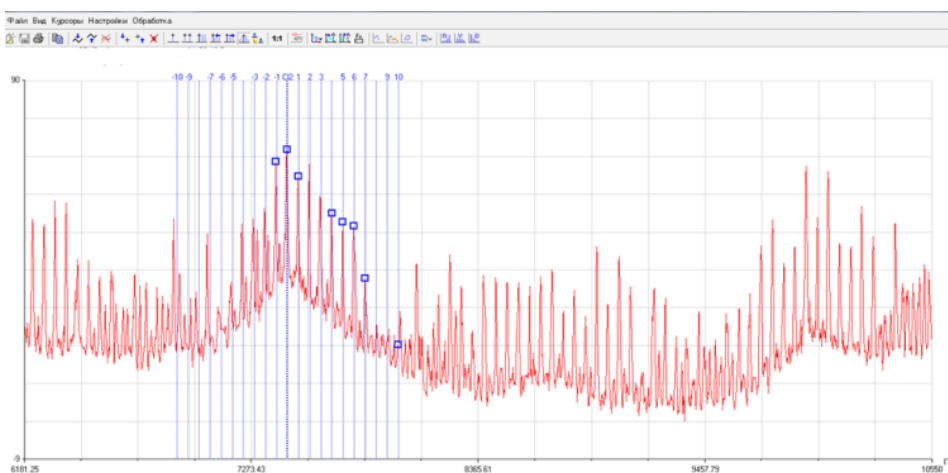
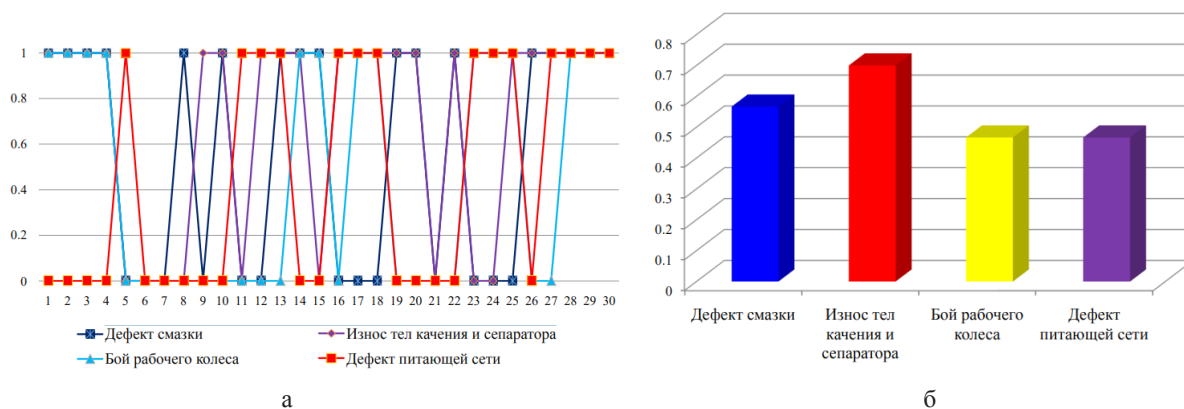
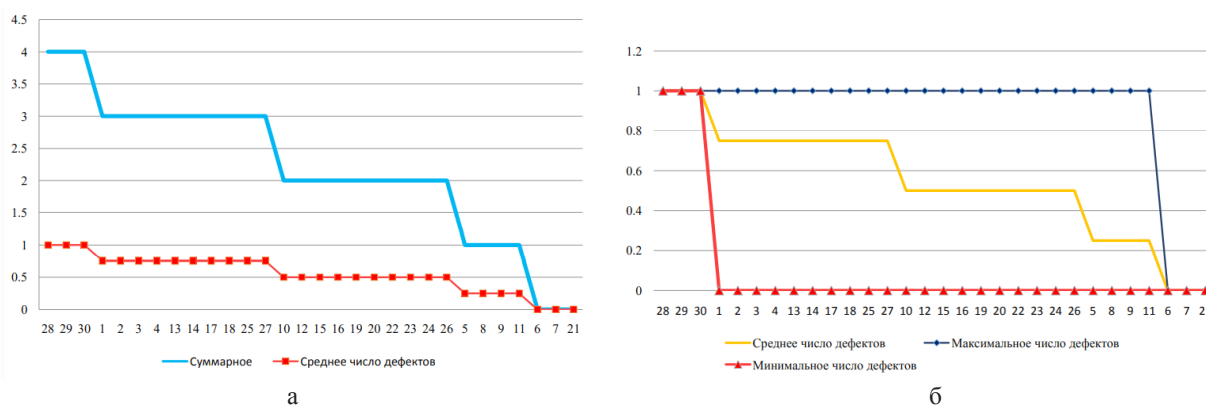


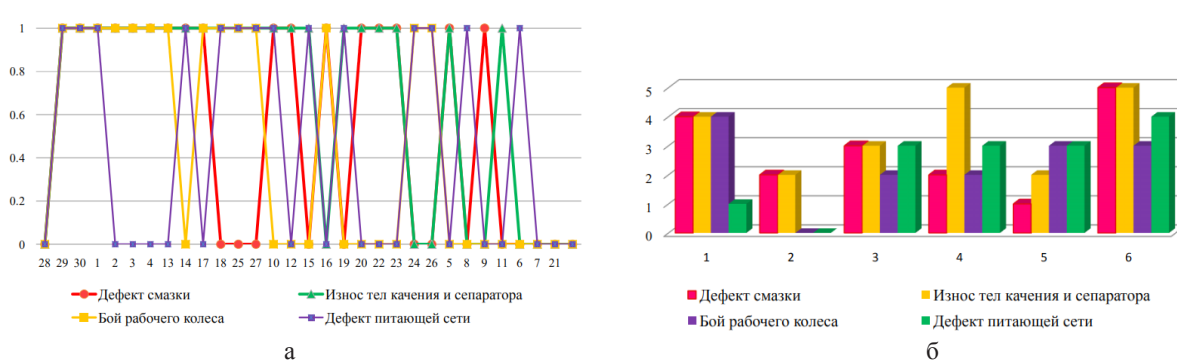
Рисунок 5 – Спектр огибающей насоса NP 10.6 в высокочастотной области



а
б
Рисунок 6 – Диаграмма дефектов электрооборудования (а) и их распределение по типу неисправности (б)



а
б
Рисунок 7 – Упорядоченная диаграмма дефектов электрооборудования (а), максимальное, минимальное и среднее число дефектов по различным типам неисправностей (б)



а
б
Рисунок 8 – Распределение дефектов по типу неисправности (а) и по клетям электродвигателя и по клетям электродвигателя (б)

На рисунке 6, а представлена диаграмма дефектов электрооборудования, на рисунке 6, б – диаграмма распределения дефектов по типу неисправности.

На рисунке 7, а представлена упорядоченная диаграмма дефектов электрооборудования, на рисунке 7, б – максимальное, минимальное и среднее число дефектов по различным типам неисправностей.

На рисунке 8, а показано распределение дефектов по типу неисправности, на рисунке 8, б – распределение дефектов по клетям электродвигателя.

На рисунке 9, а представлено распределение дефектов по клетям электродвигателя в процентах, на рисунке 9, б – распределение дефектов по типу неисправности в процентах.

На рисунке 10 представлено СКЗ виброскорости ЭД на входе устройства.

Максимальный общий уровень вибрации электродвигателя относится к уровню “Недопустимо”. На основании графика можно сделать вывод о том, что техническое состояние электродвигателя аварийное.

На рисунке 11 представлено СКЗ виброскорости ЭД на выходе устройства.

Максимальный общий уровень вибрации электродвигателя относится к уровню “Допустимо”.

На рисунке 12 представлено СКЗ виброскорости насоса.

Максимальный общий уровень вибрации насоса относится к уровню “Допустимо”. Необходимо провести мероприятия по обнаружению дефекта.

На рисунке 13 представлена высокочастотная вибрация электродвигателя и насоса.

Уровень дефекта подшипника электродвигателя сильный, уровень дефекта подшипника насоса средний.

На рисунке 14 представлен прямой низкочастотный спектр.

Уровень виброскорости в дБ:

$$L_v = 101g \left(\frac{v}{v_0} \right)^2 = 201g \left(\frac{|v|}{v_0} \right),$$

где L_v – уровень виброскорости, дБ; v – среднеквадратичное значение виброскорости, м/с; $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с – опорная виброскорость.

Выразим из формулы (1) СКЗ виброскорости:

$$v = 10^{\frac{L_v}{20}} \cdot v_0.$$

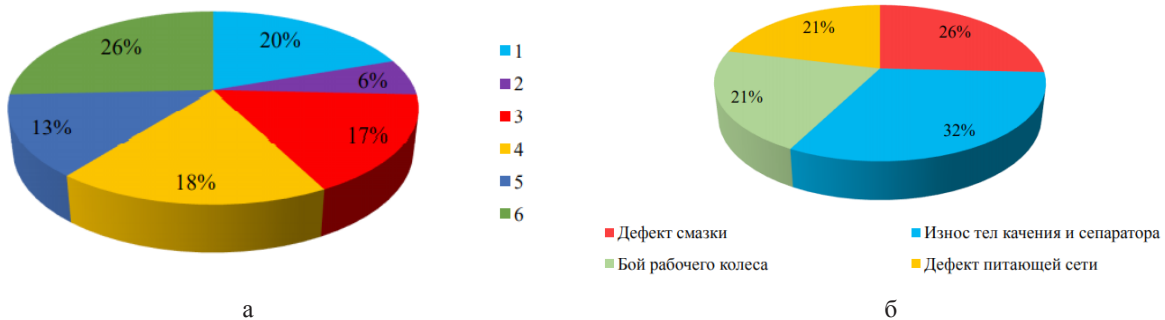


Рисунок 9 – Распределение дефектов по клетям электродвигателя в % (а) и по типу неисправности в % (б)

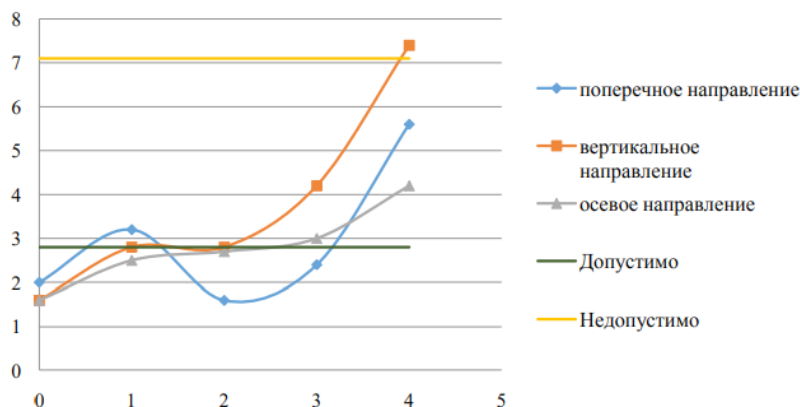


Рисунок 10 – СКЗ виброскорости ЭД на входе устройства

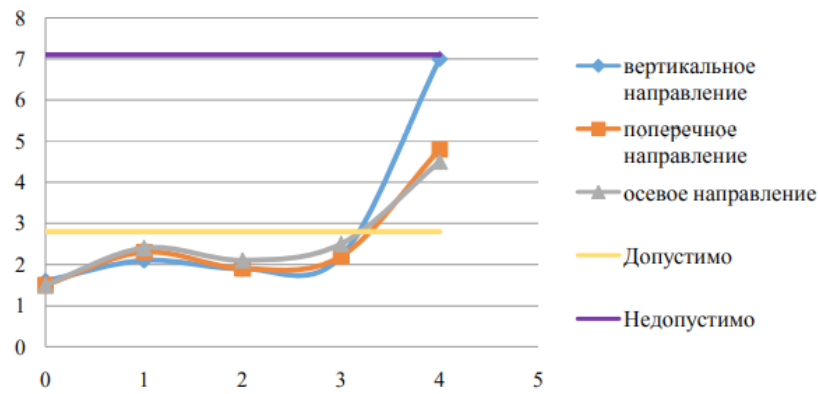


Рисунок 11 – СКЗ виброскорости ЭД на выходе устройства

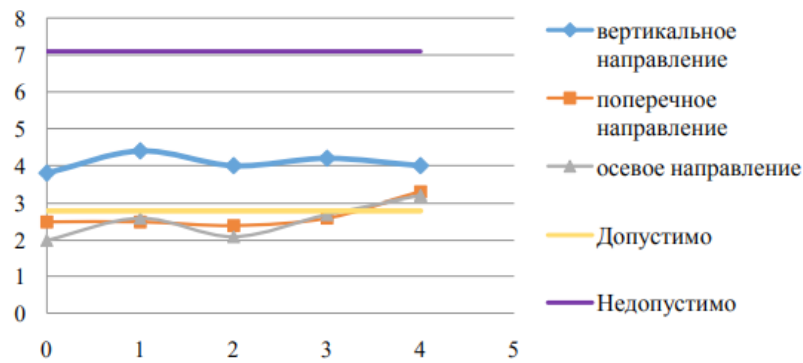


Рисунок 12 – СКЗ виброскорости насоса

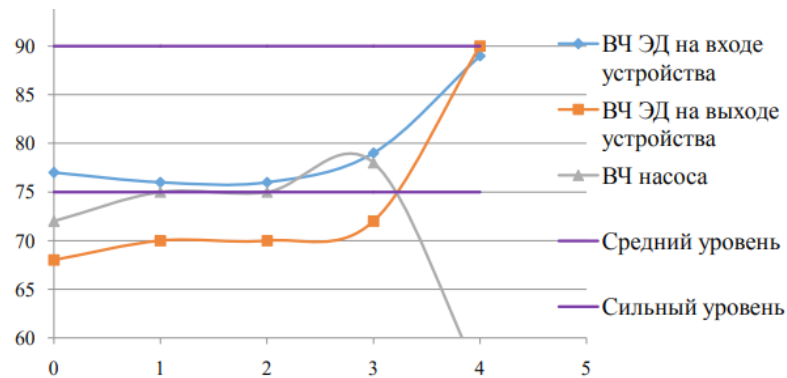


Рисунок 13 – Высокочастотная вибрация электродвигателя и насоса

Определим значение СКЗ виброскорости в 1–5 точках:

$$v_{1,2,3} = 10^{\frac{97}{20} \cdot 5} \cdot 10^{-8} = 0.004 \frac{M}{c} = 0.4 \frac{MM}{c};$$

$$v_4 = 10^{\frac{89}{20} \cdot 5} \cdot 10^{-8} = 0.0014 \frac{M}{c} = 0.14 \frac{MM}{c};$$

$$v_5 = 10^{\frac{93}{20} \cdot 5} \cdot 10^{-8} = 0.0022 \frac{M}{c} = 0.22 \frac{MM}{c}.$$

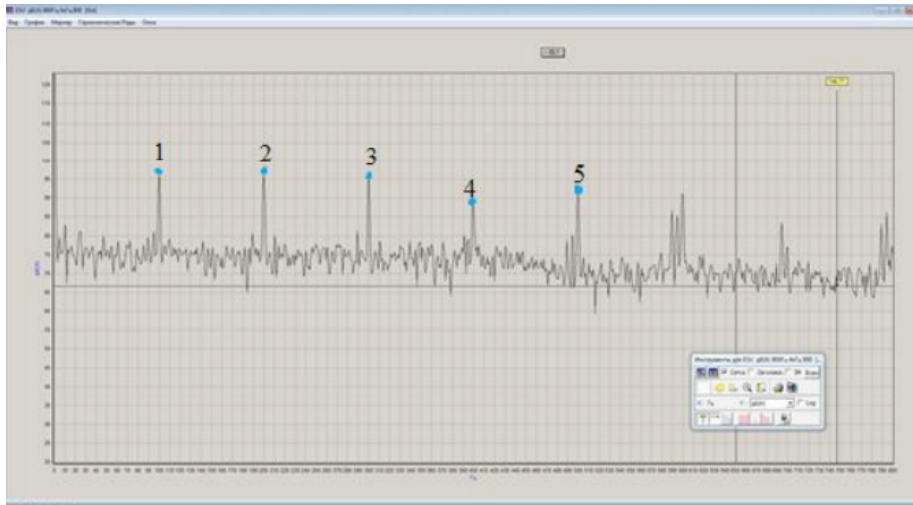


Рисунок 14 – Прямой низкочастотный спектр

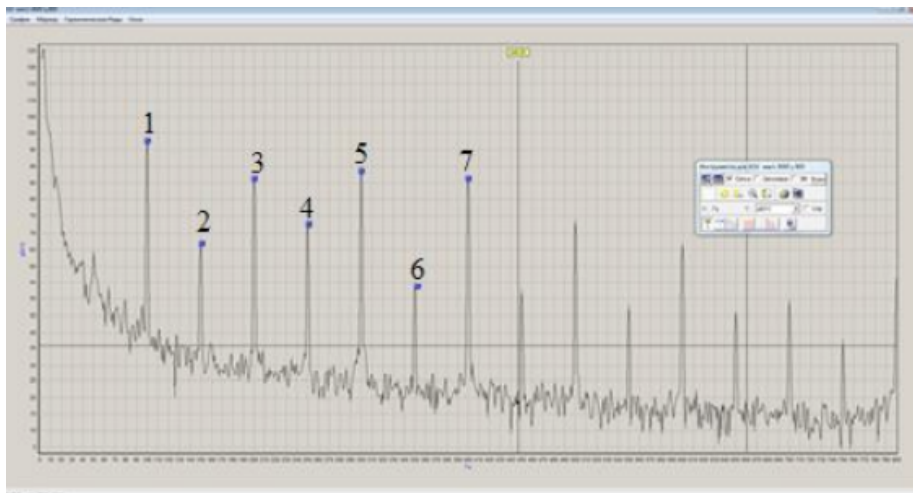


Рисунок 15 – Спектр насоса

Максимальный общий уровень вибрации насоса относится к уровню “Допустимо”.

На рисунке 15 представлен спектр насоса.

Определим значение СКЗ виброскорости в 1–7 точках:

$$v_1 = 10^{\frac{100}{20} \cdot 5} \cdot 10^{-8} = 0.005 \frac{M}{c} = 0.5 \frac{MM}{c};$$

$$v_2 = 10^{\frac{67}{20} \cdot 5} \cdot 10^{-8} = 0.00011 \frac{M}{c} = 0.011 \frac{MM}{c};$$

$$v_{3,7} = 10^{\frac{67}{20} \cdot 5} \cdot 10^{-8} = 0.0011 \frac{M}{c} = 0.11 \frac{MM}{c};$$

$$v_4 = 10^{\frac{77}{20} \cdot 5} \cdot 10^{-8} = 0.00025 \frac{M}{c} = 0.025 \frac{MM}{c};$$

$$v_5 = 10^{\frac{90}{20} \cdot 5} \cdot 10^{-8} = 0.0016 \frac{M}{c} = 0.16 \frac{MM}{c};$$

$$v_6 = 10^{\frac{55}{20} \cdot 5} \cdot 10^{-8} = 2.81 \cdot 10^{-5} \frac{M}{c} = 0.00281 \frac{MM}{c}.$$

Максимальный общий уровень виброскорости равен 0,5 мм/с, что соответствует уровню “Допустимо”.

Среднеквадратичное значение виброскорости 1–4 не превышает предельно допустимого значения (ПДЗ = 7,1 мм/с), что позволяет сделать вывод о том, что техническое состояние оборудования на момент обследования исправное [4].

Рекомендации: есть небольшой износ подшипников и дефект по смазке на электродвигателе. Вследствие износа развивается дефект рабочего колеса, проверить состояние рабочего колеса, подшипников, проверить зазоры и состояние смазки.

Среднеквадратичное значение виброскорости 5 больше предельно допустимого значения, что говорит о том, что техническое состояние оборудования на момент обследования аварийное.

Рекомендации: высокий уровень вибрации. Превышает ПДЗ. Проверить качество сети и силовые трансформаторы.

На основании проведенного анализа электрикам дана рекомендация проверить питающую сеть. Результат проверки – отчет, подтверждающий проблемы в сети питания. Источник – частотный преобразователь соседней группы. После его замены вибрация упала до средних значений, пропал высокочастотный свист, скачки напряжения [5].

Таким образом, вибродиагностика электродвигателей позволяет диагностировать не только механические дефекты: подшипников, муфт, но и электрические дефекты привода: проблемы в питающей сети, состояние обмотки, железа.

Современные производительные эффективные электрические машины очень чувствительны к качеству питающей сети и системам коммутации и приводам управления. Любые искажения, помехи, гармонические составляющие в сети приводят к изменению режимов работы электродвигателя. Все эти отклонения хорошо передаются через электромагнитную систему на опорные элементы электродвигателя, и появляются в сигнале вибрации [6].

В ходе экспериментальных исследований АД были выявлены отклонения в питающей сети, которые происходят при нарушении режимов управления частотных преобразователей элек-

трических машин, перекосе фаз, скачках напряжения и некорректной работе коммутационных элементов.

Обработка сигнала вибрации позволила выявить и определить причины повышения вибрации электрических машин, проблемы в питающей сети.

Литература

1. *Абрамов И.Л.* Вибродиагностика энергетического оборудования: учеб. пособие / И.Л. Абрамов. Кемерово: Изд-во ИУУ СО РАН, 2010. 80 с.
2. *Андрюченко Л.А.* Вибродиагностика механизмов: учебно-методическое пособие / Л.А. Андрюченко, П.А. Ларюшкин, В.В. Лычагин, С.А. Поляков. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 24 с.
3. *Бобров В.В.* Оценка эффективности основных методов диагностики асинхронных электродвигателей / В.В. Бобров // Ползуновский вестник. 2012. № 3/1. С. 198–203.
4. *Ефремова Т.А.* Особенности спектрального анализа для исследования электрических дефектов асинхронных электродвигателей / Т.А. Ефремова, Ю.Р. Моисеева // Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий: сборник трудов V международной научно-практической конференции. М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ. 2019. С. 218–222.
5. *Ефремова Т.А.* Методы диагностики электрических дефектов асинхронных двигателей / Т.А. Ефремова, Ю.Р. Моисеева // Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании: сборник трудов I Международной научно-практической конференции. М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2019. С. 229–233.
6. *Колобов А.Б.* Вибродиагностика: теория и практика: учебное пособие / А.Б. Колобов. Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 252 с.