

УДК 628.517

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-4>

Даниленко О.В., к.т.н., Верба І.І., к.т.н., Самойленко О.В., к.т.н.

Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського“

ДІАГНОСТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ОБЛАДНАННЯ ЯК ПЕРЕДУМОВА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЙОГО ПРАЦЕСПРОМОЖНОСТІ

Анотація. Збільшення в промисловості частки дрібних підприємств призводить до ускладнення організації підтримання обладнання в робочому стані. Одним з можливих шляхів вирішення цієї проблеми є постійний моніторинг стану обладнання. Достатньо простим і в той же час інформативним є аналіз віброакустичної активності машин. Періодичне створення „вібраційних портретів“ машини дозволяє їх порівнянням визначити тенденції в змінах стану ланок кінематичного ланцюга. Збільшення швидкості наростання інтенсивності вібрацій, що генеруються певними складовими машини, є підставою для перевірки таких деталей і виключення аварійних зупинок (поломок) машин.

Ключові слова: діагностика стану обладнання, „вібраційний портрет“ машини, розрахунок частот коливань, спектральний аналіз, ідентифікація джерел коливань.

Вступ. Безвідмовне функціонування металорізальних верстатів (і технологічного обладнання взагалі) потребує постійного моніторингу (визначення) його поточного стану з метою визначення можливих загроз виникнення аварійних відмов. Необхідність таких заходів обумовлена збільшенням частки дрібних підприємств а через це – неможливістю організації ремонтних служб, здатних здійснювати в повному обсязі вимоги системи технічного обслуговування і ремонту (перш за все системи планово запобіжних ремонтів).

Постановка проблеми. Виходом з цієї ситуації є здійснення регулярної діагностики стану обладнання з використанням доступних методів (органолептичних, інструментальних). При органолептичній діагностиці визначаються наявність, місця і характер вібрацій, шумів, підвищеного нагрівання та ін. але, звичайно, порівняння одержаних даних (особливо здійснених через деякі проміжки часу) буде суб'єктивним і, ймовірно, не точним. Інструментальні методи дозволяють не тільки здійснювати аналіз, а й зберегти результати вимірювання для подальшого порівняння. Необхідність порівняння обумовлена тим, що одноразова діагностика дозволяє визначити надмірні збільшення енергії коливань на окремих частотах, що свідчить про наявність дефектів в кінематичних ланках, які ці частоти генерують, але не дозволяє оцінювати швидкість зношування деталей. Визначення темпів зношування деталей дозволяє перейти до прогнозування технічного стану машини і визначити коли буде необхідно ремонтувати ту чи іншу деталь.

Отже в умовах недоцільності застосування у повному обсязі системи планово-попереджувальних ремонтів необхідно періодично робити „вібраційний портрет“ машини, тобто визначати частоти, на яких енергія коливань підвищена, та заносити ці відомості до таблиці або будувати за одержаними даними графіки. Останній варіант подібний до спектрограм, але спектрограм в яких залишені лише піки з підвищеною енергією, що можуть викликати підозру на наявність дефектів або просто ті, що відповідають частотам, пов'язаним з конкретними кінематичними ланками. Як зразок форми реєстрації результатів діагностики можна використати форму запропоновану у статті [1].

Аналіз досліджень та рекомендацій. Ідентифікація джерел коливань (ланок кінематичного ланцюга) може здійснюватися при умові попереднього розрахунку частот коливань, притаманних конкретним деталям. Можливі частоти коливань, що генеруються в машині, визначаються виходячи з конструкції складових машини і особливостей взаємозв'язків між її деталями за відомими формулами [1-3].

Кінематичний ланцюг верстата одержує рух від електричного двигуна, який живиться від електричної мережі змінного струму з частотою 50 Гц. Це викликає збурення, обумовлені переманічуванням активного металу з частотою:

$$f_m = 2 \times f_c, \quad (1)$$

де f_c – частота струму мережі живлення.

Наявність змінного магнітного викликає пульсації магнітного потоку в повітряному заторі електродвигуна:

$$f_{\text{пульс}} = f_c \times [(2 \text{ або } 0) + z_r \times R/p \times (1 - S)], \quad (2)$$

де z_r – кількість зубців ротора електродвигуна; $R = 1, 2$ – номер гармоніки; p – число полюсів електродвигуна; S – ковзання в електродвигуні.

Кінематичний ланцюг технологічної машини містить значну кількість підшипників кочення, які також є джерелами збурення, що викликаються різними похибками:

– відхилення форми підшипників кочення викликає збурення з частотою

$$f_{\Phi} = n_i / (2 \times 60), \quad (3)$$

де n_i – частота обертання вала, який встановлено на цьому підшипнику

– радіальні зазори в підшипниках кочення обумовлюють коливання з частотою

$$f_{\text{ПК}} = z_T n_i / (2 \times 60), \quad (4)$$

де z_T – кількість тіл кочення в підшипнику

– хвилястість доріжок кочення також обумовлює коливання:

○ для внутрішніх доріжок

$$f_{\text{внутр}} = f_{\Phi} \times (1 - d_T/D_0) \times z_T \times z_B/q, \quad (5)$$

○ для зовнішніх доріжок

$$f_{\text{внутр}} = f_{\Phi} \times (1 + d_T/D_0) \times z_T \times z_B/q, \quad (6)$$

– похибки форми тіл кочення (гранність) також обумовлюють виникнення коливань

○ для внутрішніх доріжок

$$f_{\text{гр.внутр}} = f_p \times (D_0/d_T - d_T/D) \times z_T \times z_r/q, \quad (7)$$

○ для зовнішніх доріжок

$$f_{\text{гр.зовн}} = f_p \times (D_0/d_T + d_T/D) \times z_T \times z_r/q, \quad (8)$$

де D_0 – діаметр кола центрів кульок; d_T – діаметр тіла кочення; z_B – кількість хвиль на доріжках кочення; z_r – кількість граней тіл кочення; $q = 120/n$

– похибки виготовлення і складання деталей, що обертаються, викликають збурення з частотою

$$f_p = n_i / 60, \quad (9)$$

де n_i – частота обертання даної кінематичної ланки.

Можливо найбільш потужними є збурення, викликані специфікою роботи та похибками зубчастих передач. При роботі верстата наявні удари в зубчастих передачах, що відбуваються при переспряженні зубців та викликають коливання на частотах:

$$f_{\text{пз}} = n_i \times z_j / 60, \quad (10)$$

де z_j – число зубців зубчастого колеса.

Наступним кроком у підготовці до аналізу результатів діагностики (тобто зроблених записів віброакустичної активності верстата) повинен бути розрахунок частот коливань, що генеруються елементами кінематики верстата.

Викладення основного матеріалу. Об'єктом для дослідження обрано універсальний токарно-гвинторізний верстат 1К62. Частина кінематичної схеми верстата, а саме коробка швидкостей, яка зосереджує основні джерела коливань, подана на рис. 1.

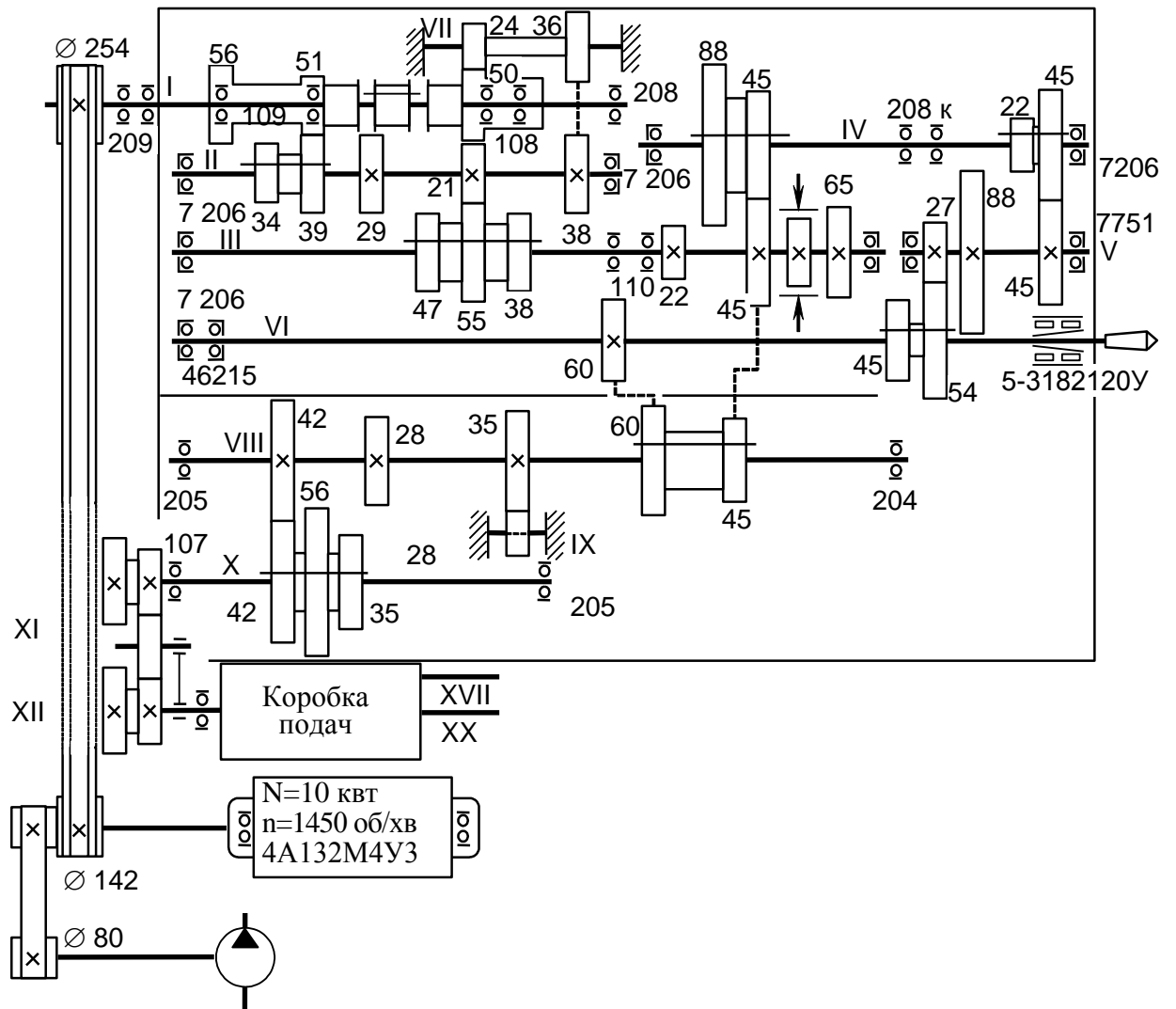


Рис. 1. Кінематична схема токарно-гвинторізного верстата мод. 1К62 для визначення частот, що генеруються можливими джерелами підвищених вібрацій

Зробивши запис віброакустичної активності верстата, наприклад з допомогою приладу ИШВ [измеритель шума и вибрации (рос.)], можна здійснити спектральний аналіз одержаного сигналу.

Спектрограма, зроблена з використанням комплексу обладнання фірми „Bruel & Kjaer“ (Данія), має вигляд (рис. 2):

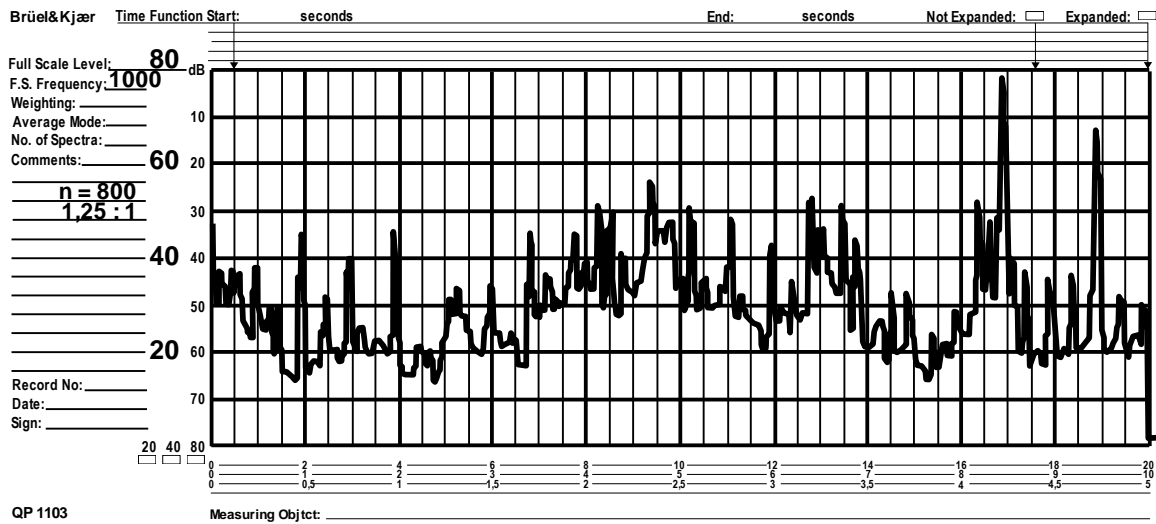


Рис.2. Зразок спектрограми, одержаної з використанням обладнання фірми „Bruel & Kjaer“

Спектрограма, побудована програмою аналізатором спектра за записом сигналу віброакустичної активності, може мати вигляд як на рис. 3.

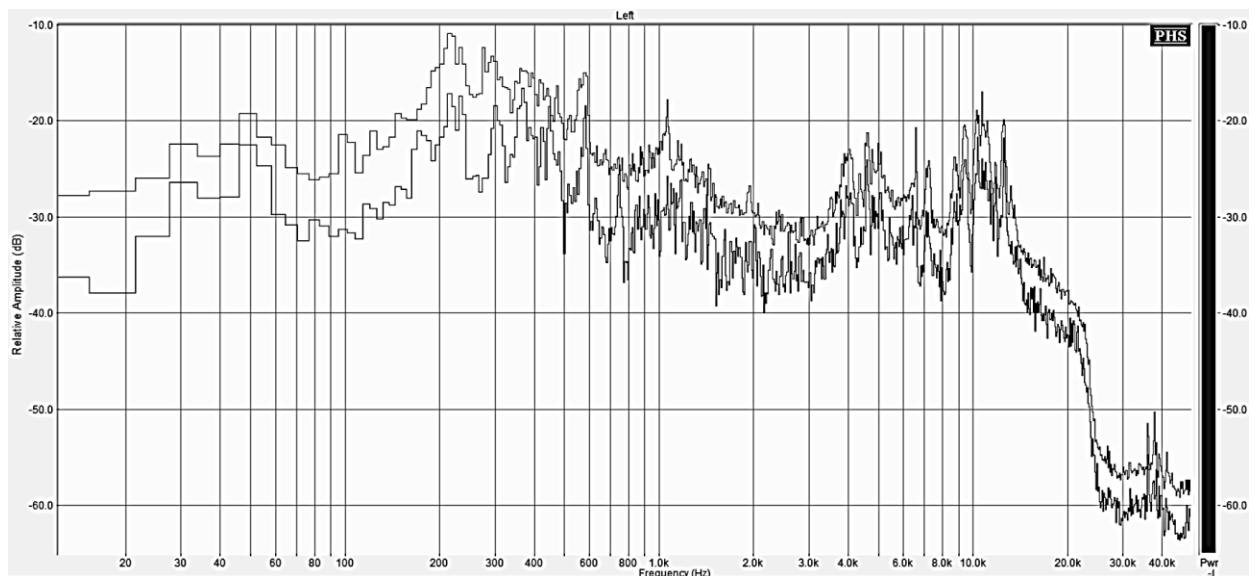


Рис.3. Спектрограма, одержана з використанням програми аналізатора спектра (частотний діапазон, доступний у програмі).

Номінальний діапазон приладу ИШВ – 20...12000 Гц, відповідно до цього на спектрограмі спостерігається різкий спад рівнів, що відображаються на графіку. Добре розрізняються окремі частоти приблизно на половині спектрограми при логарифмічній шкалі частот.

Більш точний аналіз може здійснюватися при розгляді спектру частинами. Такий аналіз потребує поділу спектру на десять частин або більше. На рис. 4 наведені деякі часткові спектра вибірково. Також передбачена можливість „трасування“ тобто визначення значення частоти і рівня сигналу для обраних точок спектрограми.

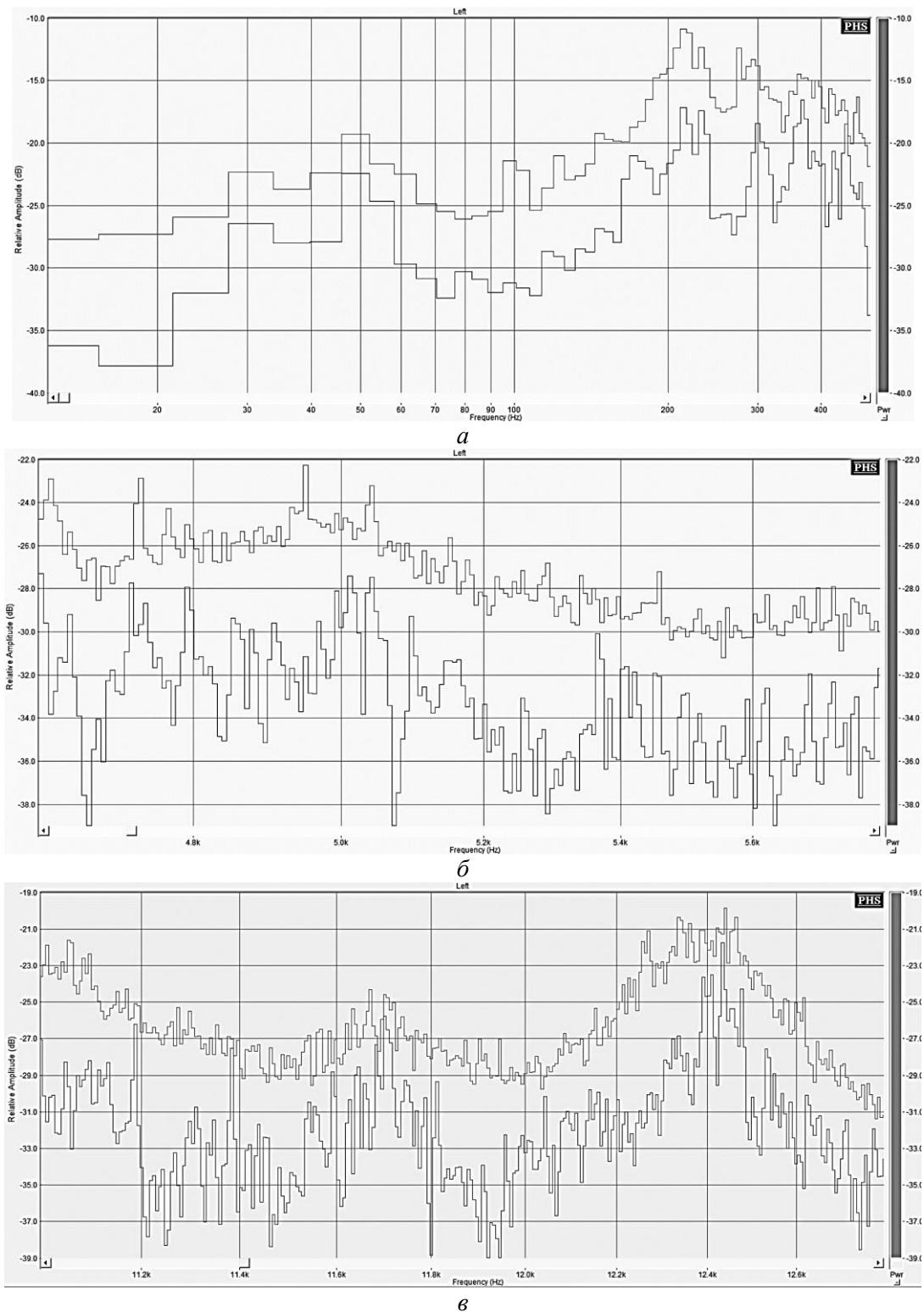


Рис.4. Приклад спектрограми віброакустичної активності верстата 1К62:
 а – частоти 12...500 Гц; б – частоти 4,7...5,8 кГц; в – частоти 11,0...12,8 кГц.

Слід особливо відзначити, що побудова спектру здійснюється за миттєвими спектрами, які визначаються з інтервалом $\sim 0,02$ с.

На спектрограмі відображено сумарний графік усіх миттєвих спектрів (верхня крива) та останній миттєвий спектр. Сумарний спектр помітно згладжений. На миттєвому спектрі частоти з підвищеною потужністю виділяються чіткіше, а під час побудови спектру (відтворенні запису віброакустичної активності) піки на миттєвому спектрі весь час змінюють своє положення (рис. 5).

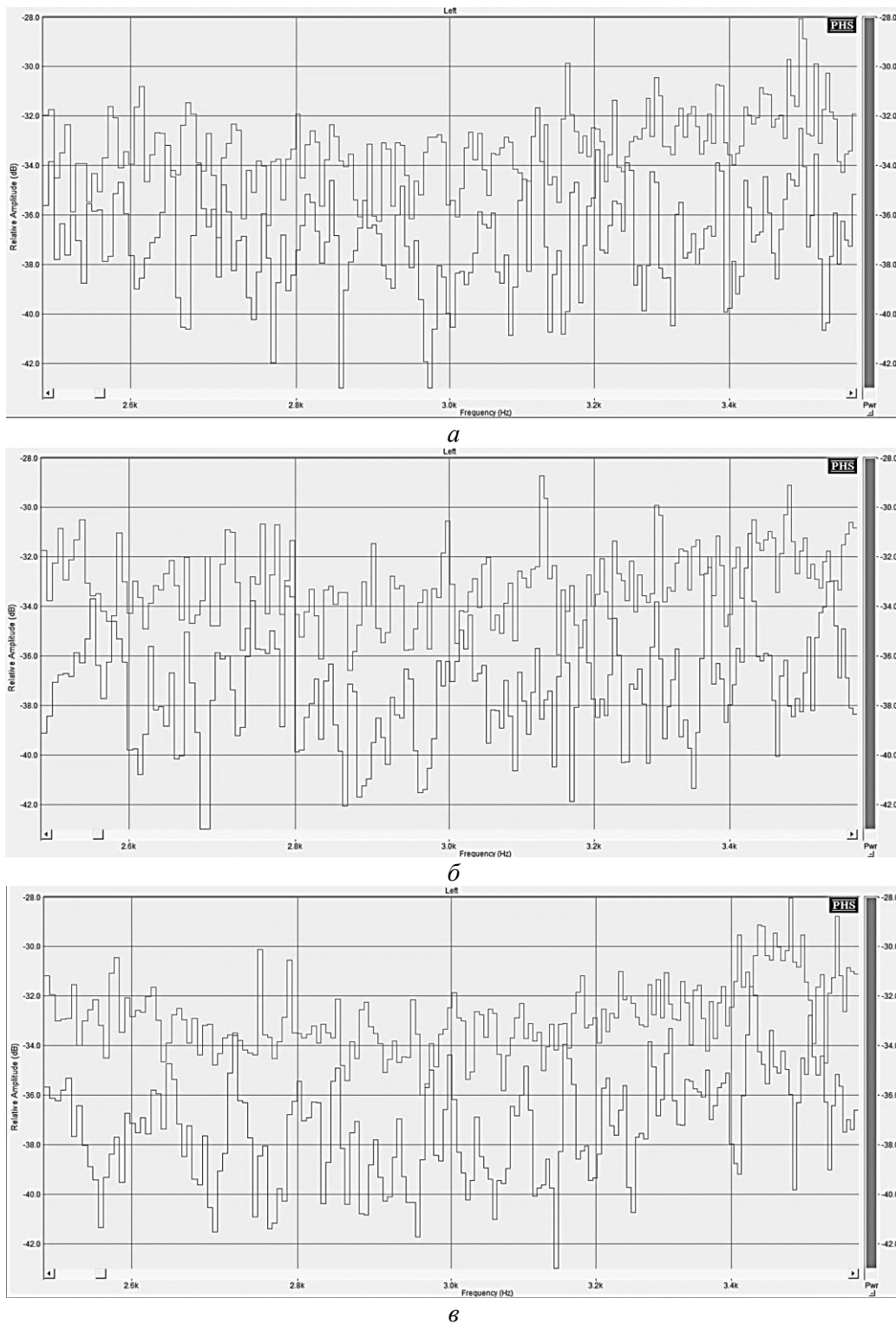


Рис.5. Зразки миттєвих спектрів для одного з діапазонів при випадково здійснених зупинках

Така особливість процесу обумовлена тим, що під час роботи досліджуваної машини безперервно змінюється відносне положення ланок кінематичного ланцюга і проявляються дефекти, розташовані в різних частинах деталей, наприклад один зношений чи пошкоджений зубець зубчастого колеса генерує сигнал при певному положенні колеса один раз за повний оберт. Таким чином порівняння миттєвих спектрів напевне дасть додаткову інформацію стосовно стану машини.

Отже аналізуючи „вібраційні портрети“ верстата (машини) можна визначити, які деталі генерують вібрації із зростаючим рівнем тобто виявити деталі, які потребують першочергової

перевірки їх стану і, можливо вже потребують ремонту (відновлення) або заміни новими деталями, запобігаючи цим виникнення аварійних відмов обладнання.

Інформаційні джерела

1. Исследование виброакустических характеристик токарно-винторезных станков / В.Б. Струтинский, А.В. Шевченко, А.В. Даниленко, Али Джаалук / Вестник НТУУ „КПИ“. Машиностроение. К.: НТУУ „КПИ“ 1999 – вып.34, с. 112-121.

2. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б. Диагностика технологических систем: учебное пособие. Часть 2 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 128 с.

3. Даниленко О.В., Яхно А.С. Дослідження віброакустичних характеристик металорізальних верстатів / Materiály XII mezinárodní vědecko – praktická konference «Dny vědy – 2016». – Díl 19. Technické vědy.: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o – 72 stran. (с. 31-36).

Даниленко А.В., Верба И.И., Самойленко А.В.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОБОРУДОВАНИЯ КАК ПРЕДПОСЫЛКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕГО РАБОТОСПОСОБНОСТИ

***Аннотация.** Увеличение в промышленности процента мелких предприятий обуславливает усложнение организации поддержания оборудования в рабочем состоянии. Одним из возможных путей решения этой проблемы является постоянный мониторинг состояния оборудования. Достаточно простым и в то же время информативным является анализ виброакустической активности машин. Периодическое создание „вибрационных портретов“ машины позволяет, сравнивая их, определить тенденции в изменении состояния звеньев кинематической цепи. Увеличение скорости возрастания интенсивности вибраций, генерируемых отдельными составляющими машины, является основанием для проверки таких деталей и исключения аварийных остановок (поломок) машин.*

Ключевые слова: диагностика состояния оборудования, „вибрационный портрет“ машины, расчет частот колебаний, спектральный анализ, идентификация источников колебаний.

Danylenko O., Verba I., Samoilenko O.

DIAGNOSTIC MONITORING OF EQUIPMENT AS A PREREQUISITE OF PROVIDING ITS ABILITY TO WORK

***Summary.** The increase in the share of small businesses in the industry makes it difficult to organize the maintenance of equipment in working order. One of the possible ways to solve this problem is to constantly monitor the condition of the equipment. Simple and informative is the analysis of the vibroacoustic activity of the machines. The periodic creation of „vibration portraits“ of the machine allows them to compare trends in changes in the state of the links of the kinematic chain. Increasing the rate of increase in the intensity of vibrations generated by certain components of the machine is the basis for checking such details and eliminating the emergency stops (breakdowns) of the machines.*

Keywords: equipment condition diagnostics, “vibration portrait” of the machine, calculation of vibration frequencies, spectral analysis, identification of vibration sources.