

УДК 621.924

**В.О. Залога, професор, д-р техн. наук,**

**В.В. Нагорний, аспірант,**

**А.М. Тур, студент**

*Сумський державний університет,*

*вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, Україна, 40007,*

*info@inform.sumdu.edu.ua*

## **ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДІАГНОСТИКИ МЕТАЛООБРОБНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ**

*У статті розглядається програмно-апаратний комплекс, призначений для контролю стану металообробної технологічної системи. Комплекс контролює якість виготовлення деталі, прогнозує момент підналадження або заміни інструменту, а також визначає напрацювання верстата до зупинки його на ремонт і причину ремонту. Це дозволяє уникати браку деталі, незапланованих простоїв технологічної системи, пов'язаних із заміною різального інструменту або виходу з ладу відповідної конструктивної частини верстату.*

**Ключові слова:** *вібродіагностика, стійкість інструменту, термін служби верстата, прогноз, звук.*

Введення. Контроль і діагностування стану металообробної технологічної системи є одним з найбільш важливих завдань автоматизованого виробництва. Основною функцією системи контролю, що діагностує поточний стан технологічної обробної системи, є прогнозування моменту її підналадження або заміни інструменту. Це дозволяє уникати браку деталі та незапланованих простоїв технологічної системи, пов'язаних з заміною різального інструменту, або виходу з строю відповідної конструктивної частини верстату.

Для виконання цього завдання необхідна поточна інформація про:

- стан оброблюваної деталі ;
- зносу інструменту;
- працездатності верстата.

Функціонування контролюючих систем підпорядковується певному алгоритму, який закладається в них за допомогою програмного забезпечення. Носієм цього програмного забезпечення є апаратна частина цих систем, яка представляє собою стаціонарні, переносні, а, найчастіше, вбудовані мікропроцесорні пристрої. Комбінація програм і їх носіїв – апаратних засобів – носить назву програмно-апаратні комплекси.

**Метою даної статті** є розгляд програмно-апаратно комплексу (рисунок 1), призначеного для контролю і діагностування металообробної технологічної системи.

**Основний зміст роботи.** Програмна складова комплексу (рисунок 2) реалізує певний алгоритм контролю технічного стану металообробної технологічної системи, який забезпечує:

- управління процесом збору необхідної для аналізу вхідної інформації;
- оперативну обробку в режимі поточного часу масиву зареєстрованої інформації;
- оцінювання якості обробки деталі;
- прогноз стійкості інструменту;
- прогноз часу напрацювання верстата до підналадження або ремонту із зазначенням причини цього ремонту;

- видачу результатів діагностування на екран дисплея та їх збереження у вигляді текстового файлу.

Для забезпечення універсальності програмного комплексу по відношенню до апаратних засобів він побудований за модульним принципом (рисунок 2) і реалізований на декількох алгоритмічних мовах: Турбо Паскаль, Делфі, Сі і JAVA. Останній варіант комплексу розрахований на мікропроцесорні пристрої, що працюють на платформі Android.

**У модулі вимірювання звукового і вібраційного сигналів** (рисунок 3) вхідна інформація реєструється по декількох каналах: по одному з них фіксується звуковий сигнал, що супроводжує процес різання, а по іншим – вібросигнали, які надходять з датчиків, встановлених в потрібних контрольних точках верстата. Для скорочення об'єму інформації, що реєструється, та підвищення оперативності контролю можна обмежитися (якщо цього достатньо) і однією контрольною точкою, розміщеною, наприклад, на передній бабці верстата, в якій розташовані зубчасті передачі.

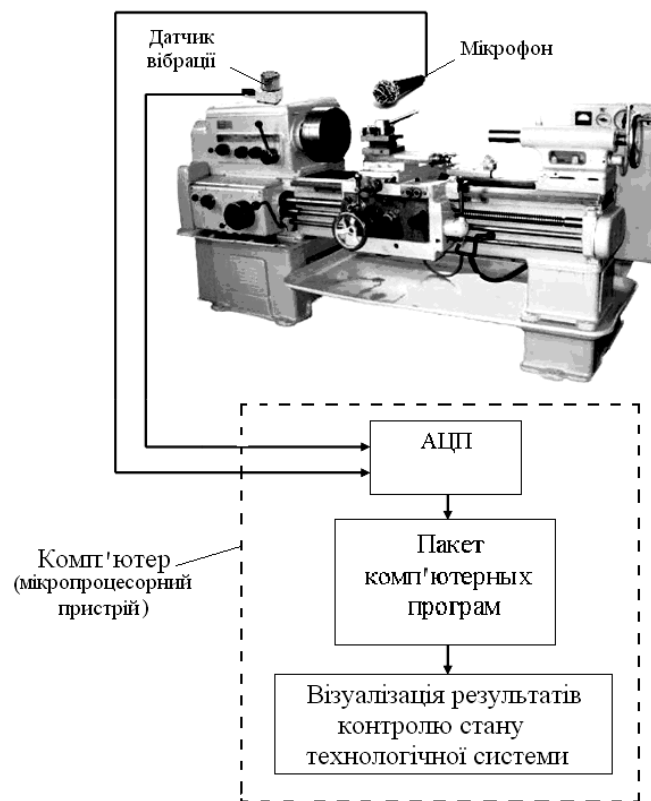


Рисунок 1 – Схема програмно - апаратного комплексу

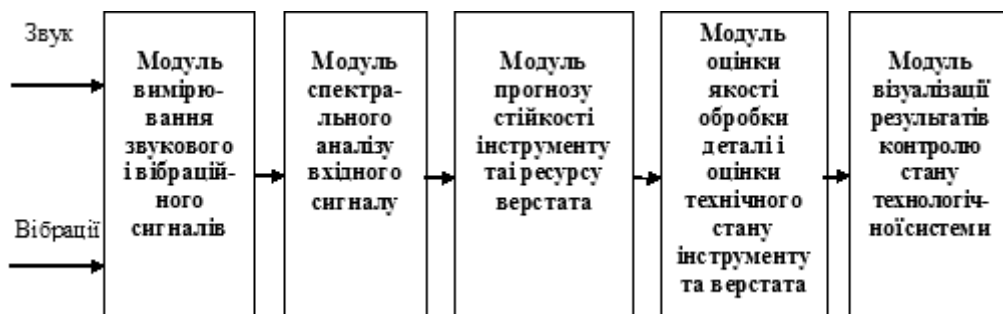


Рисунок 2 – Модулі, які складають програмну частину комплексу

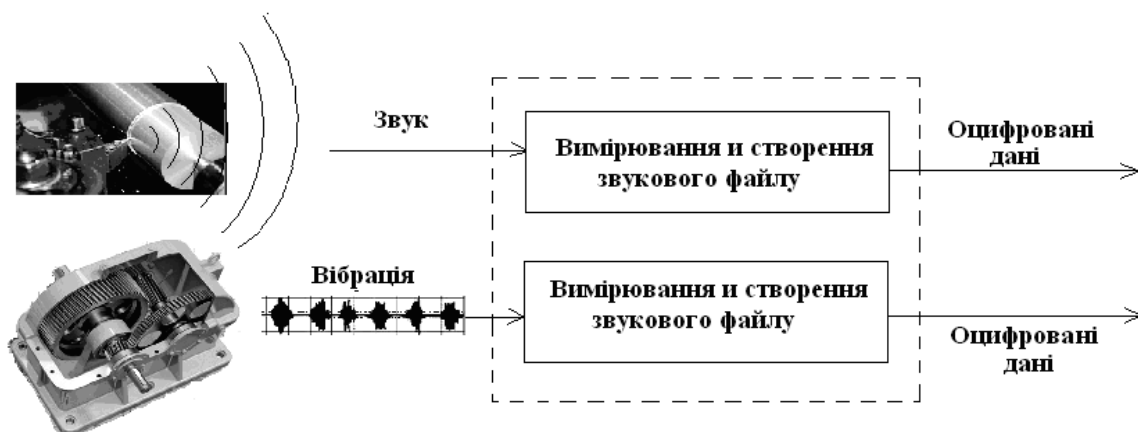


Рисунок 3 – Модуль вимірювання звукового і вібраційного сигналів

У модулі спектрального аналізу вхідної інформації здійснюється спектральний аналіз сигналів за допомогою швидкого перетворення Фур'є. При цьому визначається амплітудний спектр віброшвидкості для вібросигналу і амплітуди звукового тиску для звукового сигналу.

У модулі прогнозу стійкості інструменту і ресурсу верстата по однаковому алгоритму у процесі мінімізації значення функціоналу (1), знаходиться або стійкість інструменту або ресурс верстата.

$$U = \sum_{i=1}^m [P^P(\tau_i) - P^\Phi(\tau_i)]^2, \tag{1}$$

де  $P^\Phi(\tau)$  – фактичний параметр сигналу (тиск звуку  $E_{3B}^\Phi(\tau)$  або рівень  $A^\Phi(\tau)$  вібрації), які вимірюються при функціонуванні технологічної системи;  $P^P(\tau)$  – розрахунковий параметр сигналу;  $m$  – кількість порівнюваних виміряних і розрахованих значень параметра сигналу.

Розрахункове значення параметра  $P^P(\tau)$  визначається за допомогою апроксимаційної моделі (2) [1]:

$$P^P(\tau) = P^\Phi(\tau_0) \left[ 1 \pm \alpha \left( \frac{\tau - \tau_0}{T - \tau} \right)^\beta \right], \tag{2}$$

де  $T$  – стійкість інструменту, або ресурс станка;  $P^\Phi(\tau_0)$  – рівень звукового тиску, або рівень вібрації, зареєстровані на початку процесу обробки деталі (на початку функціонування верстату);  $\tau_0, \tau$  – тривалість механічної обробки деталі (тривалість функціонування верстату), відповідно, на момент першого (вихідного) і поточного контролів їх станів;  $\alpha, \beta$  – параметри апроксимаційної моделі.

У модулі оцінки якості за допомогою кумулятивних безрозмірних комплексних параметрів – індикаторів – кількісно описується якості функціонування технологічної системи (таблиця 1).

**Точність форми деталі** оцінюється за допомогою індикатора якості форми  $a_{\phi\delta}(\tau)$  [2] (табл. 1). Параметри даної залежності ( $\alpha, \beta, T$ ) знаходяться при мінімізації функціоналу (1). Індикатор  $a_{\phi\delta}(\tau)$  змінюється від нуля (при  $\tau_i = \tau_0$ ), коли інструмент «гострий», до одиниці (при  $\tau_i = T$ ), коли інструмент потребує заміни.

Таблиця 1 – Індикатори, які використовуються для оцінки якості функціонування технологічної системи

Елемент технологічної системи	Індикатор, що характеризує	Формула
Деталь	Точність форми деталі [2]	$a_{\phi\delta}(\tau) = \frac{(\tau - \tau_0)^\beta}{(\tau - \tau_0)^\beta + (T - \tau)^\beta}$
	Шорсткість оброблюваної поверхні	$a_{Ш} = 125 \frac{S^2}{r_6} a_{BK}$
Різальний інструмент	Поступовий знос леза інструменту	$F_{IH} = \alpha \bar{A} + \beta \bar{V}$
	Викришування леза	$a_{BK} = \frac{\tau - \tau_0}{T_\delta - \tau_0}$
	Комплексний вплив на технічний стан інструменту зношування і викришування його леза	$a_{КОМП} = a_{BK} + F_{IH} - a_{BK} \cdot F_{IH}$
Верстат	Ступінь розвитку дефектів верстата	$F_{iД} = \alpha \bar{A} + \beta \bar{V}$

На рисунку 4 наведено графік зміни індикатора якості  $a_{\phi\delta}(\tau)$ , реалізованого при поздовжньому точінні. Аналіз показує, що індикатор якості форми деталі протягом основного часу роботи інструменту змінюються незначно, маючи величину, близьку до 0,5.

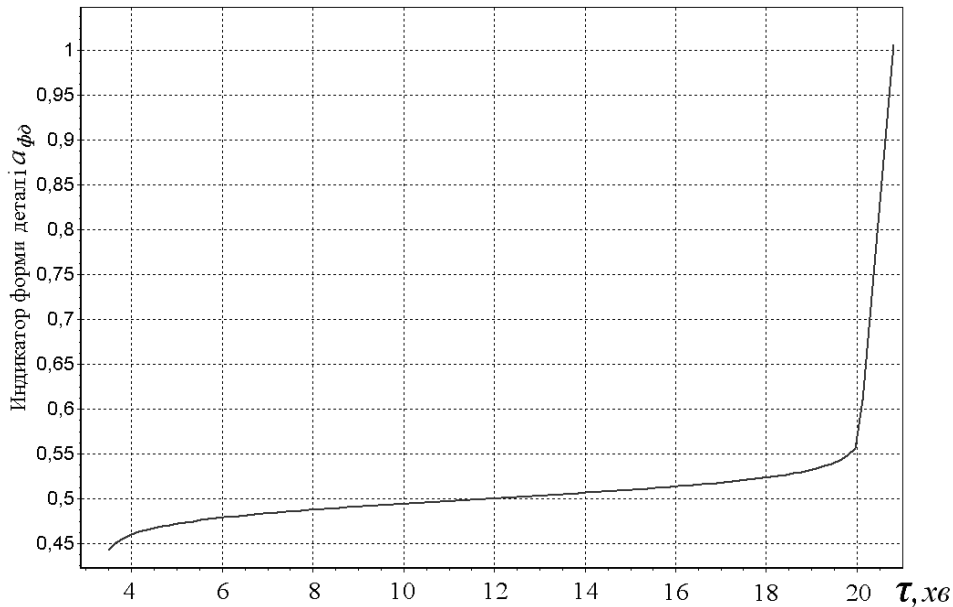


Рисунок 4 – Зміна індикатора якості форми деталі  $a_{\phi\delta}$  в залежності від тривалості поздовжнього точіння

**Якість технічного стану різального інструменту** характеризується такими термінами: «добре», «прийнятне», «допустиме», «вимагає підналагодження» і «вимагає заміни» (таблиця 2). Кількісно ці стани описуються за допомогою дискримінантної (класифікуючої) функції  $F_{IH}$  [3] (таблиця 1). Ця

формула має наступні складові:  $\bar{A} = \frac{E_{3B}(\tau) - E_{3B}(\tau_0)}{E_{3B}(T) - E_{3B}(\tau_0)}$  – ступінь зміни рівня звукового тиску;

$\bar{V} = \frac{T_n - \tau_0}{T_d - \tau_0}$  – швидкість зміни рівня звукового тиску;  $E_{3B}(T)$  – рівень звукового тиску на час заміни інструменту;  $T_d$  – дійсна стійкість інструменту (напрацювання інструменту до його заміни);  $T_n$  – прийнята (нормативна) стійкість інструменту;  $\alpha, \beta$  – вагові коефіцієнти ( $\alpha + \beta = 1$ ).

Величини вагових коефіцієнтів уточнюються в ході експлуатації технологічної системи і при відсутності досвіду експлуатації приймаються рівними 0,5.

Співвідношення між якісною і кількісною характеристиками стану інструменту наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Співвідношення між якісною і кількісною характеристиками технічного стану інструменту

«добре»	«прийнятне»	«допустиме»	«вимагає підналагодження»	«вимагає заміни»
0.0 – 0.41	0.41–0.63	0.63–0.90	0.90–1.0	> 1.0

Класифікуюча функція  $F_{IH}$  характеризує поступову зміну стану інструменту в наслідок його зносу. Однак, на стан інструменту істотно впливає і викришування різальної кромки леза. Це явище кількісно описується за допомогою індикатора викришування  $a_{BK}$  [2] (таблиця 1).

Результати розрахунку індикатора  $a_{BK}$  наведено на рисунку 5. У якості вихідних для розрахунку даних використовувалася інформація, отримана при фрезеруванні циліндричною фрезою, в ході якого було реалізовано відкол зуба фрези. З графіка витікає, що індикатор  $a_{BK}$  по мірі зростання тривалості різання, змінюється від нуля до одиниці в момент відколу зуба фрези.

Якщо індикатор  $a_{BK}$  помножити на величину параметра  $R_Z$ , що характеризує шорсткість оброблюваної поверхні, то можна отримати індикатор, який буде характеризувати якість обробленої

поверхні. Параметр  $R_Z$  розраховується за наступною відомою емпіричною залежністю, яка запропонована професором Чебишевим В.Н.:

$$a_{Ш} = 125 \frac{S^2}{r_e} a_{BK}, \text{ мкм} \quad (3)$$

де  $S$  – подача, мм/об;  $r_e$  – радіус вершини різця, мм.

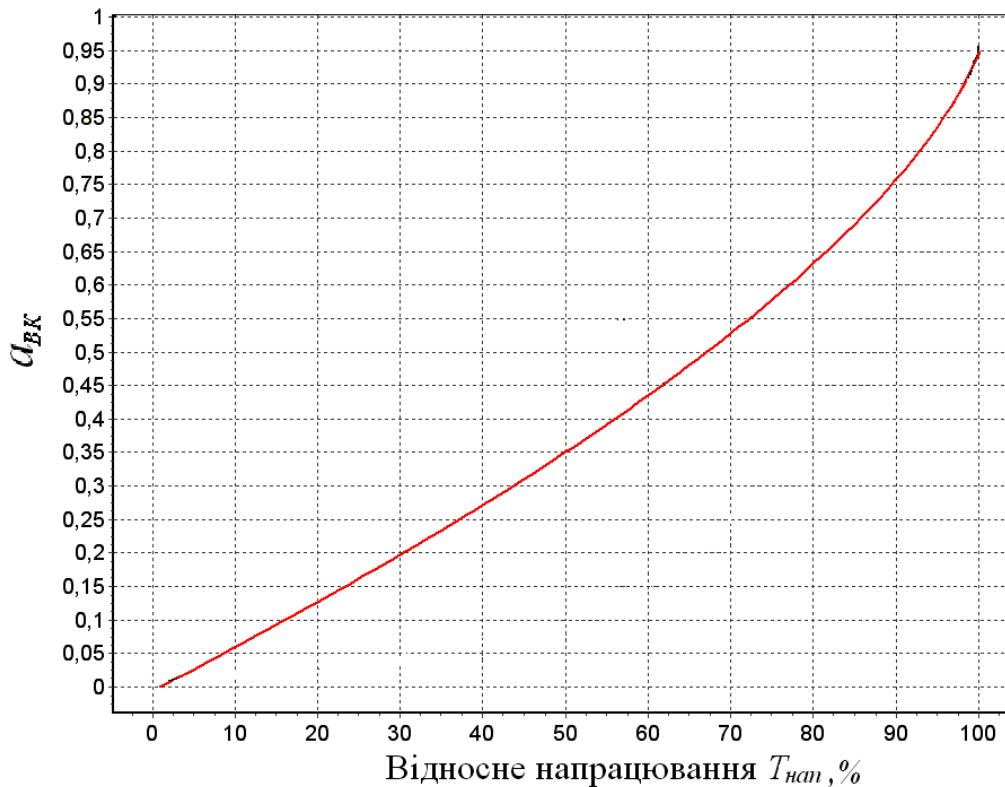


Рисунок 5 – Зміна індикатора викришування (відколу)  $a_{BK}$  в залежності від тривалості фрезерування

Класифікуюча функція  $F_{IH}$  і індикатор викришування  $a_{BK}$  змінюються від нуля до одиниці, тому їх можна розглядати як імовірнісні події. Оцінимо ймовірність їхнього спільного наступу. Вважаючи ці події незалежними, отримаємо наступний вираз для індикатора  $a_{КОМП}$ , що характеризує комплексний вплив на технічний стан інструменту його поступового зношування і викришування (таблиця 1).

Оцінка технічного стану верстатного обладнання здійснюється по аналогії з методикою діагностування різального інструменту за допомогою класифікуючої функції (таблиця 1) та шляхом використання співвідношень між якісними і кількісними характеристиками стану інструменту, наведеними у таблиця 2.

Застосування класифікуючої функції дозволяє об'єднати простоту вже достатньо широко прийнятого в промисловості методу діагностування на основі норм віброактивності (наприклад, для обертових машин типу компресор) з точністю діагнозу, що одержується шляхом обчислення швидкості зміни технічного стану верстатного обладнання.

Алгоритм, реалізований програмним забезпеченням даного модуля, передбачає виділення в спектрі вібросигналу тих частотних складових, що реагують на появу і розвиток дефектів верстата. Часові ряди, складені з амплітуд цих частотних складових - інформаційних гармонік - апроксимуються за допомогою моделі (2).

У ході цієї апроксимації визначаються ресурси вузлів верстата, на дефекти яких реагують контрольовані інформаційні гармоніки. Далі розраховуються величини класифікуючих функцій, що характеризують ступінь критичності технічного стану кожного з підконтрольних вузлів верстата.

У модулі візуалізації результатів контролю стану технологічної системи на екран дисплея виводяться лінійчаті індикатори (рисунок 6), які змінюються зліва направо. Індикатори характеризують

якість обробки деталі (формули (1) і (2), таблиця 1), стан інструменту (формули (3) , (4) і (5), таблиця 1) і стан вузлів верстату (формула (6),таблиця 1).



Рисунок 6 – Інформація про стан металообробної системи, яка виводиться на дисплей монітору

Апаратна частина комплексу складається з датчика вібрації, мікрофону та комп'ютера. На рисунку 7 показано макет апаратної частини комплексу, а на рисунку 8 наведено приклад використання програмно - апаратного комплексу при контролі стану технологічної системи в процесі фрезерування циліндричною фрезою.

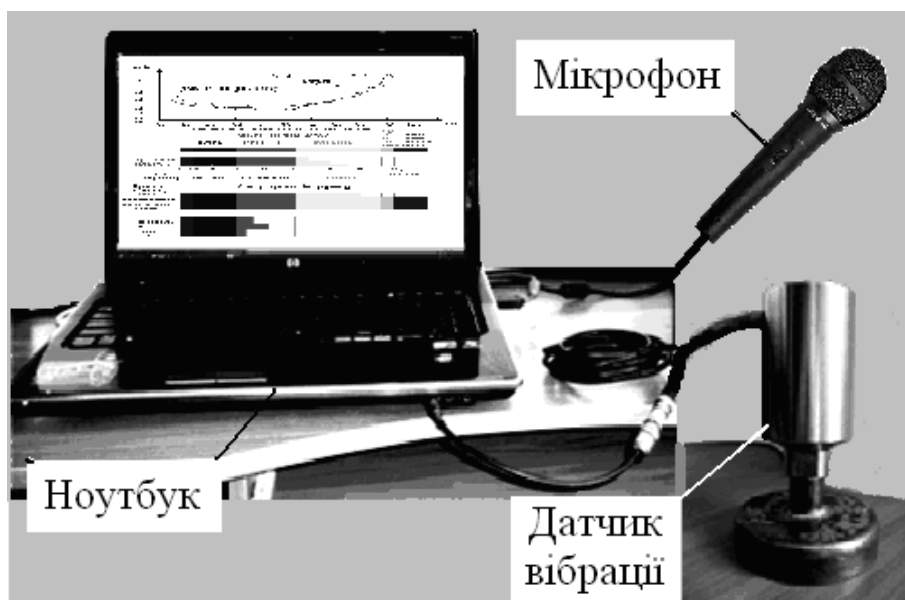


Рисунок 7 – Макет апаратної частини програмно-апаратного комплексу

Датчик вібрації та мікрофон (рисунки 7 і 8) перетворюють коливання та звуковий тиск в електричні сигнали. Ці сигнали подаються на комп'ютер, де вони піддаються спектральному і логічному аналізу за допомогою розглянутого раніше програмного оснащення даного апаратно – програмного комплексу, яке забезпечує:

- реєстрацію зміни звуку та вібрації в часі;

- розрахунок і будовання спектрів звуку та вібрацій верстату;
- розрахунок терміну експлуатації різального інструменту та наробітку верстату до його зупинки на ремонт чи підналагодження;
- контроль якості обробки деталей, технічного стану інструменту та верстату зі збереженням усіх даних у текстовому файлі;
- відображення результатів контролю у наглядній формі на екрані дисплею;
- подачу звукового сигналу у разі досягнення технологічною системою критичного стану, пов'язаного або з якістю обробки деталей, або з технічними станами різального інструменту та верстату;
- документування результатів діагностування у вигляді «Протоколу ...», що зберігається в текстовому файлі.

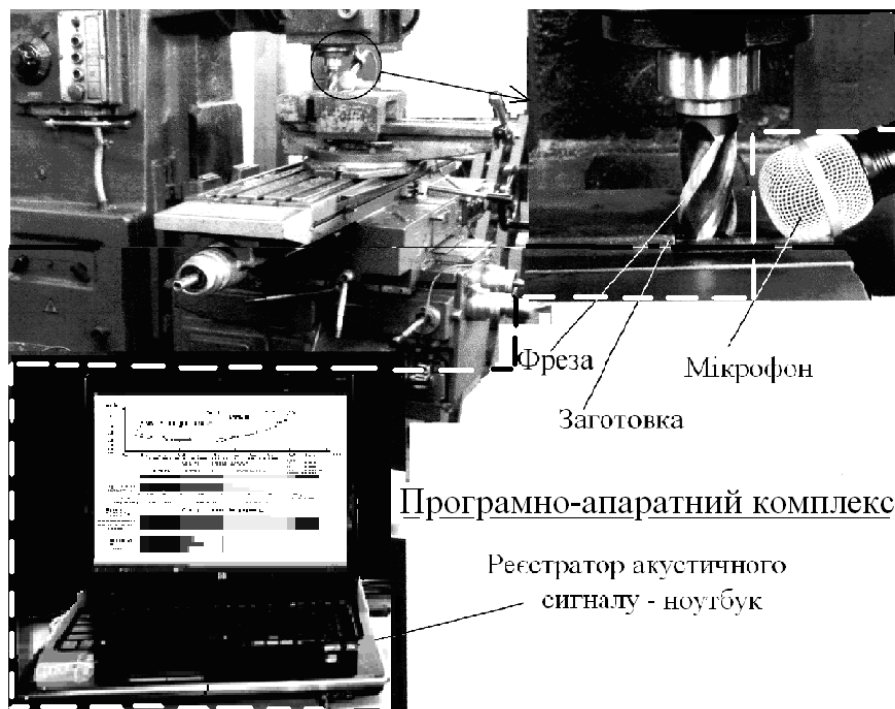


Рисунок 8 – Контроль звуку, супроводжуючого процес фрезерування, за допомогою апаратної частини програмно - апаратного комплексу

**Висновки.** Розроблено програмно–апаратний комплекс та методику його використання, які дозволяють діагностувати та контролювати стан елементів металообробної технологічної системи у режимі реального часу, що є одним із найбільш важливих завдань автоматизованого виробництва. Основною функцією цього комплексу є прогнозування моменту підналагодження тих елементів технологічної системи, стан яких наближається до критичного. Це дозволяє уникати браку деталі та незапланованих простоїв обробної технологічної системи, пов'язаних з її налагодженням або заміною різального інструменту.

**Перспектива подальших досліджень в даній області.** Перспектива подальших досліджень буде пов'язана з розробкою вбудованих мікропроцесорних програмованих пристроїв, з удосконаленням алгоритму їх функціонування та алгоритму контролю і діагностуванню стану металообробної технологічної системи.

#### **Бібліографічний список використаної літератури**

1. Залого В.А. Оценка степени износа инструмента методом вибродиагностики [Текст] / В.А. Залого, В.В. Нагорный / Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. — 2011. — № 4. — С. 88 – 96.
2. Залого В.А. Расчёт индикаторов разрушения режущего инструмента [Текст] / В.А. Залого, В.В. Нагорный / Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. — 2012. — № 2. — С. 101 – 111.

3. Нагорний В.В. Розробка системи технічного діагностування машин [Текст] / В.В. Нагорний // Міжнародна науково-практична конференція «Комп'ютерні науки для інформаційного суспільства». – Луганськ : Вид-во «Ноулідж», 2010. – С. 178 – 180.

*Поступила в редакцію 23.01.2014 р.*

**Залогова В.А., Нагорний В.В., Тур А.Н. Программно-аппаратный комплекс диагностики металлообрабатывающей технологической системы**

В статье рассматривается программно-аппаратный комплекс, предназначенный для контроля состояния металлообрабатывающей технологической системы. Комплекс контролирует качество изготовления детали, прогнозирует момент подналадки или замены инструмента, а также определяет наработку станка до остановки его на ремонт и причину ремонта. Это позволяет избежать брака детали, незапланированных простоев технологической системы, связанных с заменой режущего инструмента или выхода из строя соответствующей конструкторской части станка.

**Ключевые слова:** вибродіагностика, стійкість інструмента, строк служби станка, прогноз, износ, звук.

**Zaloga V.A., Nagornay V.V., Tur A.N. Software and hardware diagnostic metalworking technology system**

The article deals with the hardware-software system designed for the control of metal processing system. Complex controls the quality of manufacturing parts, predicts moment podnaladki or replacement instrument and identifies the machine running time to stop for repair and repair the cause. This allows you to avoid the lack of detail, unplanned downtime technological system associated with the replacement of the cutting tool or the failure of the relevant structural parts of the machine .

**Keywords:** vibrodiagnosis, tool life , the life of the machine, prediction, wear, sound.