

УДК 681.2:621.317

С.С. Ольховіков<sup>1</sup>, Н.Х. Раковська<sup>2</sup>, С.М. Швидков<sup>3</sup><sup>1</sup> *Донецький політехнічний університет, Донецьк*<sup>2</sup> *Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*<sup>3</sup> *Метрологічний центр військових еталонів, Харків*

## РОЗРОБКА МОДУЛЮ УВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ СИСТЕМИ ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ ДВИГУНІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

*Розроблений модуль введення вимірювальної інформації, що призначений для вимірювання та цифрової обробки віброакустичних сигналів при вібродіагностиці газотурбінних двигунів. Розроблена система є уніфікованим модулем, повністю сумісним зі стандартним інтерфейсом ISA, і призначена для установки в корпус персонального комп'ютера.*

**Ключові слова:** газотурбінний двигун, модуль введення, вібродіагностування.

### Вступ

Постановка задачі. Основний тип силової установки, який застосовується в даний час в авіації та ракетобудуванні – газотурбінний двигун (ГТД). Основу ГТД складає багатоступінчаста лопаткова машина, що включає набір обертових (соплових) апаратів компресора і турбіни [1]. Технічний стан ротора турбокомпресора багато в чому визначає ресурс і надійність силової установки і, отже, безпеку польотів літального апарата. У цьому зв'язку контроль і діагностування стану ГТД по вібраційним параметрам являє собою один з найважливіших напрямків у загальній системі технічної діагностики. Крім того, розробка ефективних систем неруйнуючого контролю параметрів технічного стану машин і механізмів у робочих умовах є задачею виняткової важливості [1].

**Аналіз літератури.** Вібраційний аналіз має в порівнянні з іншими діагностичними методами ряд характерних рис, пов'язаних з тим, що останні звичайно фіксують результати силового навантаження, а за допомогою вібраційних методів здійснюється безпосередній контроль самого динамічного силового впливу. Звідси випливає принципова можливість більш раннього, в порівнянні з іншими способами, виявлення, і навіть попередження несправностей [1 – 4].

Однак головною проблемою застосування методів вібраційного аналізу полягає у відсутності досить простих у використанні та обслуговуванні систем збору та аналізу віброакустичних сигналів. Запропонована в статті система збору, введення й обробки аналогових сигналів призначена для вимірювання і цифрової обробки віброакустичних сигналів при вібродіагностиці газотурбінних агрегатів у турбінобудуванні. Розроблена система має необхідні характеристики для своєчасного та достовірного виявлення можливих відмов при контролі технічного стану ГТД.

### Основний матеріал

В авіаційній та ракетній промисловості випускаються різні газотурбінні двигуни (ГТД), наприклад, Д-436, СБ-2000, Д-27. Вони є основними силовими агрегатами для літальних апаратів [1]. Для застосування в пересувних електростанціях (великої одиничної потужності до 10 МВт), на газоперекачуючих станціях використовується спеціальний ГТД Д-336.

ГТД є складною динамічною системою, що складається, як правило, із трьох ступіней: компресор і турбіна високого тиску, компресор і турбіна низького тиску, компресор і вільна турбіна, що може бути зв'язана з електрогенератором. Вочевидь, що для такої системи необхідна своєчасна і достовірна технічна діагностика її стану. Технічна діагностика ГТД у реальному масштабі часу є дуже актуальною задачею – вона дозволяє перейти від експлуатації ГТД за часом до експлуатації ГТД за станом. Одним з основних елементів технічної діагностики є вібродіагностика.

Вібрації, тобто механічні коливання, визначаються звичайно як реакція системи на дію обурюючих сил [3]. При аналізі вібрації ГТД, як система розглядається конструкція ГТД СБ2000. Обурюючі навантаження, що діють в ГТД, обумовлені принципом дії й особливостями турбокомпресора, який представляє собою лопаткову роторну машину і складає основу сучасного ГТД, а також умовами експлуатації силової установки. Внутрішні і зовнішні сили, що обурюють, мають в основному механічне і газодинамічне (аеромеханічне) походження. При використанні в наземних установках (наприклад, для ГТД Д-336) виникають додаткові зовнішні впливи від електрогенератора компресора.

Опис поведінки такої системи під дією навантажень може бути засноване на вивченні вібраційного спектра, що є сукупністю простих гармо-

нійних коливань, на які може бути розкладений складний коливальний рух різних точок двигуна

Спектр ГТД має, як правило, комбіновану структуру (рис. 1) і являє собою суму широкопasmового вібраційного шуму (тла) і лінійчатого спектра, що складається з ряду дискретних гармонійних складових. Найбільший внесок в утворення тла вносять навантаження, що обурюють, і які мають аеродинамічну природу, дискретні ж складові обумовлені силами як механічного, так і газодинамічного походження.

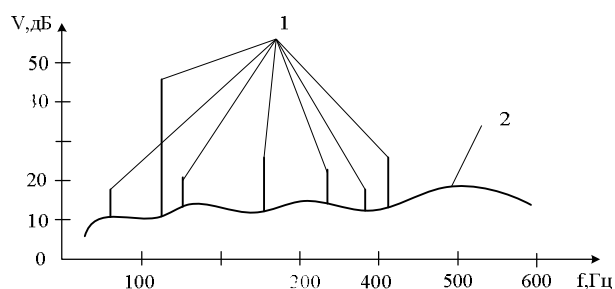


Рис. 1. Спектр вібрацій ГТД:  
1 – дискретні складові; 2 – вібраційний шум

Основне джерело вібрації ГТД – обертовий ротор турбокомпресора. Статистична і динамічна нерівноваженості ротора призводять до виникнення сил і моментів, що викликають вібрацію, як самого ротора, так і всієї турбомашини в цілому [3].

Роторна аеромеханічна вібрація – викликається газодинамічними нестационарними навантаженнями. Основне її джерело – навколишня нерівномірність потоку газу (повітря), що протікає через рухливі і нерухомі грати лопаткових апаратів

Вібрація, викликана акустичним шумом, створеним компресором і турбіною, а також виникає при роботі вхідного пристрою, реактивного сопла і камери згоряння.

Вібрація, що генерується зубцюватими з'єднаннями, які є в редукторах двигуна й у системі приводів.

Вібрація, що генерується підшипниками. Вона викликана геометричними похибками, що виникають у процесі їхнього виготовлення і монтажу.

При вимірюванні вібрації і контролі стану ГТД використовуються наступні параметри:

а) віброзміщення – амплітуда віброзміщення дозволяє охарактеризувати деформацію конструкції при вібрації;

б) виброприскорення – характеризує рівень інерційних навантажень, що виникають при коливаннях;

в) виброшвидкість – вимірювання виброшвидкості дозволяє оцінити вібронапруженість конструкції, що, у свою чергу, визначає процес нагромадження ушкоджень, особливості усталістних характеристик.

Для вимірювання цих параметрів існують два класи приладів: аналогові прилади і цифрові системи, спеціальні методи цифрової обробки сигналів. Аналогові системи дозволяють одержувати значення вимірюваних параметрів у реальному часі – (системи реального часу). В основі цих систем полягає фільтрація сигналів. Але цей клас має істотний недолік – мінімальна похибка у визначенні амплітуди складає 10 %. Необхідно відзначити, що реєстрація аналогових сигналів скрутна.

Тому останні 10-15 років велике поширення одержали цифрові методи [4]. Вібродіагностика виконується за допомогою інформаційно-вимірювальних систем. Розроблювальний модуль є частиною такої системи.

Особливості контролю роторної вібрації пов'язані, насамперед, з діапазоном частот діагностики. Для вібродіагностики ГТД необхідний частотний діапазон від 0 до 10 КГц із роздільною здатністю по частоті в 1Гц. Маються три піддіапазона діагностики:

- (0...10) КГц;
- (50...80) КГц;
- (200...800) КГц.

Перший піддіапазон дозволяє виявляти основні гармоніки, що руйнують двигун.

Другий піддіапазон дозволяє виявляти дефекти, що зароджуються, у підшипниках (задири, відколи в кульках і т.д.), у системі приводів.

Третій піддіапазон – використовує методи акустичної емісії – це методи, що дозволяють виявляти дефекти типу мікротріщин, що зароджуються, особливо на лопатках.

З трьох розглянутих піддіапазонів використовується тільки перший, причому обмежений до 5 КГц [4].

Як було сказано вище, у даний час велике поширення при вібродіагностиці ГТД одержали саме цифрові методи. Вони засновані (якщо обчислюється оцінка спектральної щільності потужності) на використанні перетворення Фур'є, методів оцінки авторегресії – спеціальних алгоритмів обчислень, що дозволяють працювати в квазіреальному часі.

У зв'язку з викладеним вище, можна окреслити загальний перелік задач, що повинні вирішувати розроблювальний модуль вводу вимірювальної інформації:

- знімання параметрів;
- аналого-цифрове перетворення;
- накопичування інформації;
- цифрова обробка.

Таким чином, виникає задача розробки апаратури для вимірювання параметрів вібрації. Число датчиків вібрації досягає 12. Датчики повинні контролювати оборотні гармоніки двигуна. Але цього недостатньо, необхідно знати амплітудно-частотну характеристику двигуна для прогнозування його

стану, тобто, необхідне накопичування інформації з наступною обробкою. Розроблювальний пристрій повинний бути системним модулем, мати можливість підключення через інтерфейс до ПЕОМ. Даний модуль повинний мати кілька режимів роботи. Основною вимогою є стабільна протягом усього часу роботи витримка частоти чи дискретизації періоду  $T_d$  вибірки каналів. Повинна бути реалізована можливість для роботи модуля при перемінній частоті дискретизації вхідного сигналу.

Одними з найвідоміших закордонних аналогів розроблювального модуля є система фірми Signatec, що поставляє широкий спектр IBM PC-сумісних пристроїв уведення сигналів, пристроїв масової пам'яті і сигнальних процесорів [3]. У них використовується додаткова шина даних, що розміщується у верхній частині плати й забезпечує паралельну передачу даних. SAB-шина надає усі відкриті архітектурні переваги шини ISA, але має більшу вихідну

швидкість. Дані по магістралі SAB передаються незалежно від шини ISA по власній 64-розрядній магістралі з частотою 25 МГц. Завдяки величезній швидкості передачі даних 200 Мбайт/с, SAB виключає усі вузькі місця в передачі даних між різними системами збору, пам'яттю, сигнальними процесорами і платами АЦП. Таким чином, плати SAB є ідеальним рішенням для багатьох високопродуктивних додатків, таких як телекомунікації, радіолокація, неруйнуючий контроль, медицина і системи вимірювання швидкості за допомогою лазера.

Однак ці модулі не задовольняють заданим вимогам, потрібним для вибродіагностування ГТД. Даний модуль не містить автономної системи  $T_d$  і накопичувальних буферів. Уведення великих масивів виконується під керуванням ПЕОМ. А також у такого модуля дуже низька швидкодія.

Тому запропонована наступна структурна схема модуля вводу вимірювальної інформації (рис. 2).

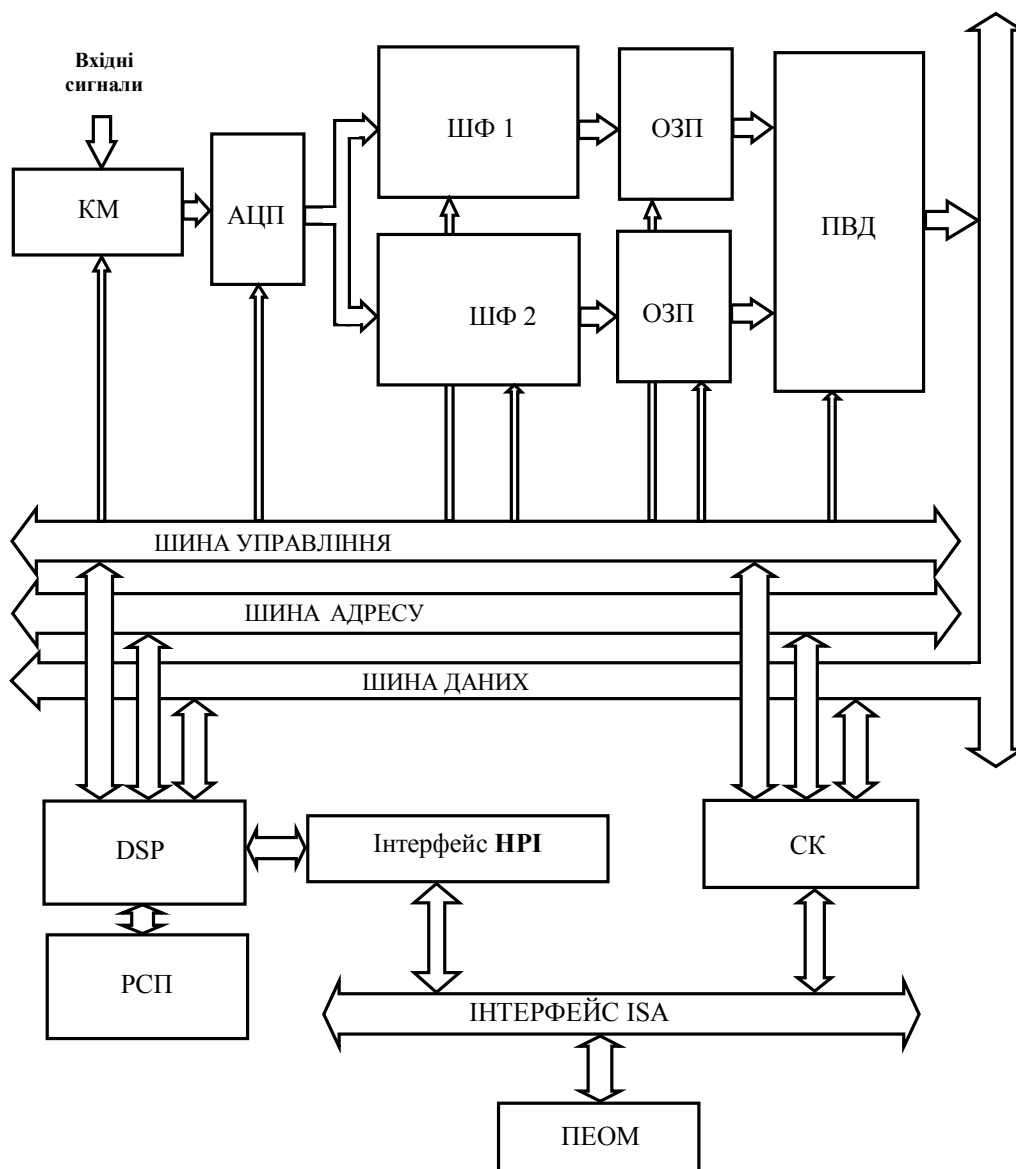


Рис. 2. Структурна схема запропонованого модуля уведення вимірювальної інформації

На структурній схемі прийняті такі умовні позначення:

КМ – комутуючий пристрій на 16 каналів;  
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;  
ОЗП – оперативно-запам'ятовуючі пристрої;  
ПВД – пристрій вибору даних;  
DSP – мікропроцесор,  
PCП – сигнальний процесор TMS320C25;  
СК – схема керування;  
ШФ1, ШФ2 – шинні формувачі: шини даних,

адреси, керування.

КМ використовується для послідовного підключення до АЦП одного з 16 вимірювальних каналів.

АЦП виконує аналого-цифрове перетворення інформації, що надходить на його аналоговий вхід. Далі результат перетворення (цифровий код) записується в пам'ять процесора і частково в ОЗП першої групи.

ОЗП груп 1 і 2 можуть працювати або в режимі запису, або в режимі читання (визначається керуючими сигналами схеми керування).

Процесор формує деякі керуючі сигнали, а також виконує цифрову фільтрацію вибірки.

Схема керування формує керуючі сигнали, необхідні для нормального функціонування модуля. Керуючі сигнали визначаються станом бітів слова керування.

Дана структурна схема дозволяє реалізувати 2 режими роботи:

- Режим 0 – переведення в цифровий код інформації одного каналу;
- Режим 1 – циклічне переведення в цифровий код інформації всіх каналів.

Таймер, порт введення, порт пристрою керування мають свої фізичні адреси. Структурна схема дозволяє реалізувати, крім режиму 1, режим 0. У цьому випадку МП контролер бере на себе керування модулем, і відстеження часових інтервалів відбу-

вається програмним способом. У режимі 1 також можна робити вибіркове опитування каналів.

Схема зв'язана з вищестоящим пристроєм системи, у яку вона входить, за допомогою інтерфейсу.

Таким чином, запропонована структурна схема модулю введення аналогової інформації дозволяє позбутися недоліків відомих модулів.

## Висновок

У статті запропонована структурна схема модуля введення вимірювальної інформації для системи вібродіагностики газотурбінних агрегатів у будівництві двигунів для літальних апаратів.

Запропонований модуль крім вібродіагностики можна використовувати в інших областях науково-виробничої діяльності, так як інтерфейс модуля – стандартний варіант ISA, він може бути включений до складу інформаційно-вимірювальної системи як пристрій введення й первинної обробки вимірювальної інформації.

## Список літератури

1. Биргер И.А. *Техническая диагностика* / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1998. – 234 с.
2. Дорошко С.М. *Контроль и диагностирование состояния газотурбинных двигателей по вибрационным параметрам* / С.М. Дорошко. – М.: Транспорт, 1984. – 184 с.
3. Герман М. *Вибрация авиадвигателей* / М. Герман, Б. Пузановский, И. Смирнов. – М.: Гражданская авиация, 1974. – 262 с.
4. Новиков Ю.В. *Разработка устройств сопряжения для персонального компьютера типа IBM PC* / Ю.В. Новиков, О.А. Калашников, С.Э. Гуляев. – М.: Эком, 2001. – 188 с.

Надійшла до редколегії 14.05.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ВВЕДЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

С.С. Ольховиков, Н.Х. Раковская, С.М. Швыдков

*Разработан модуль введения измерительной информации, который предназначен для измерения и цифровой обработки виброакустических сигналов при вибродиагностике газотурбинных двигателей летательных аппаратов. Разработанная система является унифицированным модулем, полностью совместимым со стандартным интерфейсом ISA, и предназначена для установки в корпус персонального компьютера.*

**Ключевые слова:** газотурбинный двигатель, модуль введения, вибродиагностирование.

## DEVELOPMENT OF MODULE OF INTRODUCTION OF MEASURING INFORMATION SYSTEMS OF VIBRODIAGNOSTICATING OF ENGINES OF AIRCRAFTS

S.S. Olkhovikov, N.Kh. Rakovskaya, S.M. Shvydkov

*The module of introduction of measuring information is developed, which is intended for measuring and digital treatment of vibroacoustic signals at vibrodiagnostics of turbo-engines of aircrafts. The developed system is the compatible module, fully consonant with the general-purpose interface of ISA, and intended for setting in the corps of the personal computer.*

**Keywords:** turbo-engine, module of introduction, vibrodiagnosticating.