

**В.Р. Скальський, Є.П. Почапський, Б.П. Клим,
О.Г. Сімакович, Я.Д. Толопко, П.П. Великий, П.М. Долішній**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів

ДІАГНОСТИЧНА СИСТЕМА БЕЗДРОТОВОЇ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ



Запропоновано структуру діагностичної 8-канальної системи бездротової передачі акустико-емісійної інформації під час моніторингу об'єктів тривалої експлуатації. Наведено результати розробки програмно-алгоритмічного забезпечення для апаратної частини системи і для персонального комп'ютера, який здійснює управління системою та постобробку акустико-емісійної інформації. Наведено основні технічні характеристики системи.

Ключові слова: акустична емісія, система бездротової передачі інформації, програмне забезпечення.

Акустико-емісійні системи мають низку недоліків, серед яких суттєвим є наявність кабельних ліній від об'єкта контролю до місця розташування системи. Останнім часом було розроблено бездротові технології, які і значно дешевші, і усувають ці недоліки. Серед них найбільш досконалими слід назвати радіотелеметричні системи, під якими розуміють сукупність передавальної і приймально-реєструючої апаратури, призначеної для вимірювання та передачі за допомогою радіохвиль, прийому і реєстрації різних параметрів, що характеризують процеси на об'єкті контролю. Використання новітньої елементної бази для побудови таких систем діагностування дає можливість покращувати їх технічні характеристики, зменшувати вагу, габарити та енергоспоживання.

Останнім часом активно ведуться розробки апаратури з використанням радіоканалу для пе-

редачі акустико-емісійної інформації. Такі засоби пропонують відомі зарубіжні холдинги та ряд компаній: Mistras Group на чолі з компанією PAC (США), Vallen Systeme (Німеччина), Brüel&Kjær (Данія), ИНТЕРЮНИС, НВФ «Диатон», ДИАПРОМЕЛ (Росія) [1–10].

На ринку акустико-емісійних засобів чільне місце посідає компанія PAC (США), яка пропонує систему реєстрації «Радіоканал» [7], створену на базі сучасних мікропроцесорів. Основу цієї бездротової системи складає вузол, до якого належать первинний перетворювач та модуль, що здійснює вимірювання параметрів сигналів акустичної емісії (АЕ) і передає їх у цифровому вигляді через радіоканал на приймальну станцію, з'єднану з персональним комп'ютером (ПК) через канал USB. Вузли системи можуть працювати від автономного джерела живлення протягом кількох годин.

Система може працювати у двох режимах: а) безпосередньої передачі сигналів від вузлів до базової станції; б) у «мережевому» режимі, коли одні вузли передають сигнали до базової станції через своїх сусідів. Цей режим най-

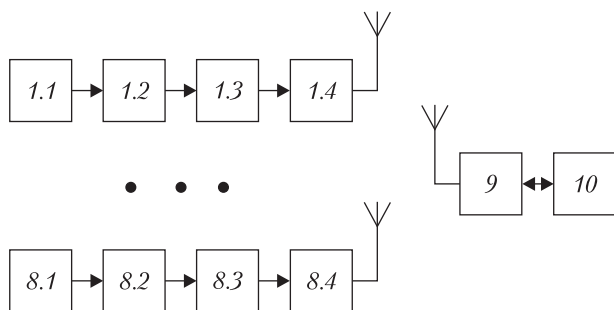


Рис. 1. Структурна схема 8-канальної бездротової акустико-емісійної системи

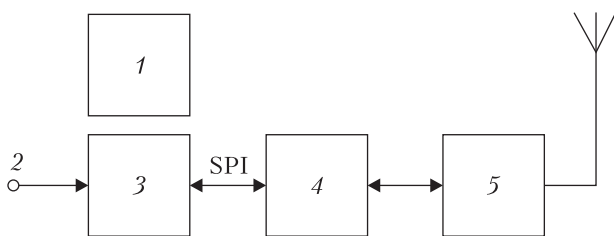


Рис. 2. Структурна схема ПППМ

зручніший для моніторингу об'єктів контролю (ОК) великої протяжності.

Діагностичну АЕ-апаратуру сімейства A-Line 32D (DDM/R) [8] (ТзОВ ИНТЕРЮНИС) широко застосовують у Росії. До складу системи входять: центральний блок збору і обробки даних на базі індустріального комп'ютера; центральна приймально-передавальна станція, призначена для прийому даних із модулів АЕ та управління ними; приймально-передавальна станція, обладнана вбудованими акумуляторами, що забезпечують до 8 год роботи в автономному режимі; модуль АЕ; первинний перетворювач. Система забезпечує передачу даних радіоканалом у радіусі 500 м від центральної станції.

Також відома бездротова система моніторингу будівельних конструкцій фірми «Геотек» [9], яка забезпечує передачу даних з ОК без його візуального огляду. Дані вимірювань можуть передаватися до користувача різними шляхами (наприклад, через Інтернет). Декілька первинних перетворювачів об'єднують у мережу, утворюючи «вузли», які мають джерело

живлення і самостійно можуть передавати сигнали тільки на малі відстані. Тому на об'єкті встановлюють центральний пристрій, який збирає і зберігає інформацію в базі даних для аналізу з різних вузлів. У разі настання критичної ситуації надходить повідомлення як сигнал тривоги. Центральний пристрій виконує також калібрування первинних перетворювачів і перепрограмування їх вузлів, забезпечуючи в цілому гнучкість системи. Центральний пристрій має ПК з постійним джерелом живлення і відповідними програмами [10].

В Україні, незважаючи на деякі оригінальні розробки АЕ-засобів [11, 12], промислове виробництво акустико-емісійної апаратури взагалі відсутнє. Набутий досвід експлуатації розроблених у Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України апаратурних АЕ-засобів для діагностування об'єктів тривалого експлуатування [13], зокрема 4-канальної телеметричної системи [14–16], використаний лише для формулювання основних вимог до розроблення багатоканальної бездротової АЕ-апаратури, яка давала б можливість безперервно відстежувати стан конструкції чи обладнання, що працюють в умовах дії шкідливих та вибухонебезпечних середовищ з одночасним підвищенням оперативності та якості діагностування. Основні вимоги до АЕ-апаратури:

- ✦ зменшення потужності споживання первинних приймально-передавальних модулів (ПППМ) (збільшення часу неперервної роботи системи);
- ✦ збільшення дальності передачі даних (вихід персоналу за зону ймовірної небезпеки);
- ✦ збільшення зони контролю об'єкта;
- ✦ зменшення похибки визначення координат джерел за рахунок покращення часової синхронізації вимірювальних каналів;
- ✦ зменшення похибки вимірювання амплітуди сигналу АЕ за рахунок збільшення розрядності АЦП;
- ✦ застосування алгоритмів оптимізації встановлення антени з урахуванням реального згасання пружних хвиль.

На рис. 1 наведена структурна схема 8-канальної бездротової акустико-емісійної системи, яка в значній мірі відповідає поставленим вимогам. Вона містить такі основні вузли: перетворювачі АЕ восьми каналів (1.1–8.1), попередні (1.2–8.2) і демодулюючі (1.3–8.3) логарифмічні підсилювачі каналів — для підсилення і демодуляції сигналів АЕ з виходу перетворювачів; первинні приймально-передавальні модулі (1.4–8.4) — для відбору, попереднього опрацювання та передачі радіоканалом вимірювальної інформації, представлені сигналами АЕ; базовий приймально-передавальний модуль (БППМ) 9 — для приймання радіоканалом вимірювальної і службової інформації та передачі її в комп'ютер через порт USB; персональний комп'ютер (ПК) 10, який керує роботою системи, а також опрацьовує, запам'ятовує і візуалізує вимірювальну інформацію.

Структурна схема ПППМ каналу системи наведена на рис. 2. Тут 3 — мікроконтролер, який служить для відбору, попереднього опрацювання сигналу АЕ, а також для здійснення управління процесом передачі та прийому інформації по радіоканалу. З метою зменшення потужності споживання ПППМ використовується мікроконтролер серії MSP430 з низьким енергоспоживанням MSP430F2618. Блоки 4, 5 — приймач-передавач CC2520 та підсилювач потужності CC2591 відповідно. Сумісне їх використання дало змогу значно підвищити дальність зв'язку. Також модуль містить автономне акумуляторне джерело живлення 1. В БППМ окрім перелічених структурних елементів для обміну інформацією з ПК використано контролер USB FT245RL. Живлення БППМ здійснюється з ПК по каналу USB.

Збільшення контрольованої зони на об'єкті досягнуто застосуванням восьми акустичних каналів. Розміщення первинних перетворювачів каналів відбувається з урахуванням реального згадання пружних хвиль в матеріалі контрольованого об'єкта та особливостей його форми.

Система побудована на базі мережевого протоколу SimpliсiTI, який розроблений компа-

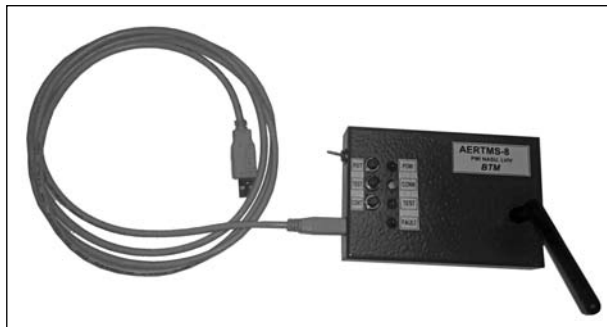


Рис. 3. Загальний вигляд БППМ

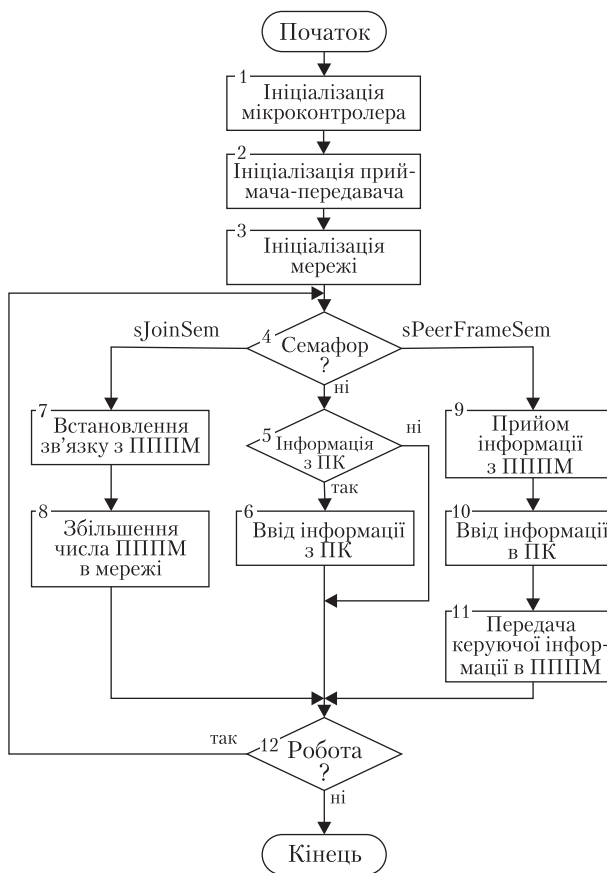


Рис. 4. Блок-схема алгоритму роботи БППМ

нією TI і орієнтований на мережі з малопотужними пристроями (до 30 пристроїв в мережі). Він дуже простий у застосуванні і потребує мінімальних ресурсів мікроконтролера. Протокол SimpliсiTI підтримує топологію «зірка» з точкою доступу для одержання і відправки по-



Рис. 5. Загальний вигляд ПППМ

відомлень кінцевим пристроям. Він поширюється з відкритим кодом і не вимагає ліцензії, легко адаптується під конкретні задачі.

На рис. 3 наведено загальний вигляд базового модуля БППМ системи. На боковій стінці розташовано роз'єм для під'єднання кабелю USB. Геометричні розміри блоку $140 \times 85 \times 40$ мм³.

Блок-схема алгоритму роботи БППМ системи, який відіграє роль точки доступу мережі, наведена на рис. 4. При включенні базового модуля блок 1 здійснює початкову ініціалізацію мікроконтролера. Сюди відноситься налаштування його системи тактових сигналів, портів вводу—виводу, контролера USB, конфігурація базового таймера. Далі програма (блок 2) ініціалізує приймач—передавач, при цьому послідовно відбувається налаштування кана-

лу SPI для взаємодії між MSP430 та CC25220 і переведення останнього в режим прийому.

Після завершення ініціалізації апаратної частини викликається функція ініціалізації мережі `SMPL_Init(sCB)` (блок 3). Параметр `sCB` являє собою вказівник на функцію виклику, виконувану в обробнику переривань при отриманні посилки точкою доступу.

Функція зворотного виклику `sCB` фільтрує прийняті пакети в залежності від їх ідентифікатора каналу зв'язку для того, щоб визначити джерело посилки і розрізнити запит на підключення до мережі нового кінцевого пристрою. Нульовий ідентифікатор каналу зв'язку означає запит на підключення. Якщо запит прийнятий, точка доступу присвоює кінцевому пристрою, який підключився, ідентифікатор в діапазоні від 0×01 до $0 \times 1D$. Відповідно до ідентифікатора каналу зв'язку функція зворотного виклику `sCB` визначає і інкрементує відповідний семафор `sPeerFrameSem` або `sJoinSem` для їх обробки в тілі основної програми. Якщо встановлено семафор `sJoinSem` (блок 4), то викликається функція встановлення зв'язку (блок 7). Після чого збільшується число пристроїв, які розпізнаються точкою доступу (блок 8), а семафор `sJoinSem` декрементується.

Семафор `sPeerFrameSem` встановлюється кожного разу, коли БППМ приймає повідомлення від пристрою в мережі, після чого відбувається прийом інформації з ПППМ та передача її в ПК (блоки 9, 10). Блок 11 здійснює зворотню передачу керуючої інформації в ПППМ. Це може бути інформація щодо режиму роботи, величини порогу дискримінації, а також відлік часу базового таймера для синхронізації всіх ПППМ системи. Якщо жоден із семафорів не встановлений, то програма здійснює запит ПК на ймовірне введення керуючої інформації (блоки 5, 6).

На рис. 5 наведено загальний вигляд блоку ПППМ системи. Роз'єм на передній боковій стінці забезпечує під'єднання блоку до попереднього та демодулюючого логарифмічного підсилювачів, тумблер — для переведення ПППМ

у робочий режим. Габаритні розміри блоку $185 \times 85 \times 35 \text{ мм}^3$. Конструктивно блок складається із двох плат — плати приймача—передавача та плати процесора. Там же розміщено акумулятор на 4,8 В електроємністю 2,7 А · год.

Блок-схему алгоритму роботи ПППМ системи, який відіграє роль кінцевого пристрою мережі, наведено на рис. 6. В ПППМ блок 1 здійснює додатково ініціалізацію АЦП, яке використовується для оцифрування огинаючої сигналу АЕ аналогового компаратора, для визначення моменту перевищення сигналом порогу дискримінації, а також ЦАП — для задання значення цього порогу.

Після підключення до мережі (блок 3) у блоці 4 відбувається вибір режиму роботи ПППМ. У тестовому режимі відбувається генерування тестової послідовності (блок 5) з відповідною передачею її в БППМ (блок 9). У контрольному режимі відбувається оцифрування сигналу (блок 7) на виході логарифмічного підсилювача 3 (рис. 1) з метою контролю рівня шумів. В основному режимі відбувається запуск процесу збору АЕ-даних (блок 6), який включає вимірювання моментів приходу та амплітуди імпульсів АЕ. Після завершення часу нагромадження відбувається послідовна передача з часовою затримкою (блок 8) інформації в БППМ з наступним прийомом від нього керуючої інформації. Одержана інформація використовується зокрема для синхронізації таймера, задання порогу дискримінації, вибору режиму роботи.

На рис. 7 наведена блок-схема підпрограми обробки переривання аналогового компаратора, котрому виділено один вектор переривання, з яким пов'язаний прапорець переривання SAIFG. Він встановлюється по наростаючому або спадаючому фронту сигналу компаратора (визначається бітом SAIES регістра управління компаратора САСТЛ1). Якщо встановлені ще й біти дозволу переривання SAIE і GIE, то встановлення прапорця SAIFG генерує запит переривання. Біт SAIFG автоматично скидається при обробці переривання або може бути скинутий програмно.

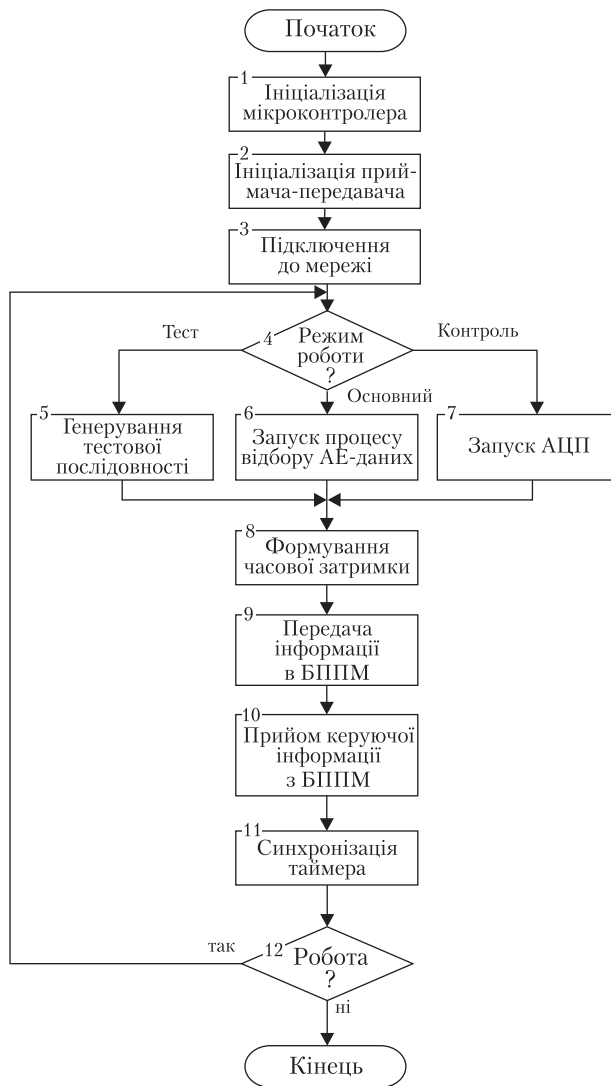


Рис. 6. Блок-схема алгоритму роботи ПППМ

При спрацюванні компаратора в момент перевищення вхідним сигналом порогу дискримінації спадаючим фронтом сигналу на виході встановлюється біт SAIFG та генерується запит переривання. При обробці цього запиту в блоці 1 підпрограми переривання (див. рис. 7) здійснюється зміна фронту, за яким встановлюється прапорець переривання. Це дасть змогу одержати виклик підпрограми переривання при згасанні інформаційного сигналу нижче від порогу дискримінації. Якщо мало місце пе-

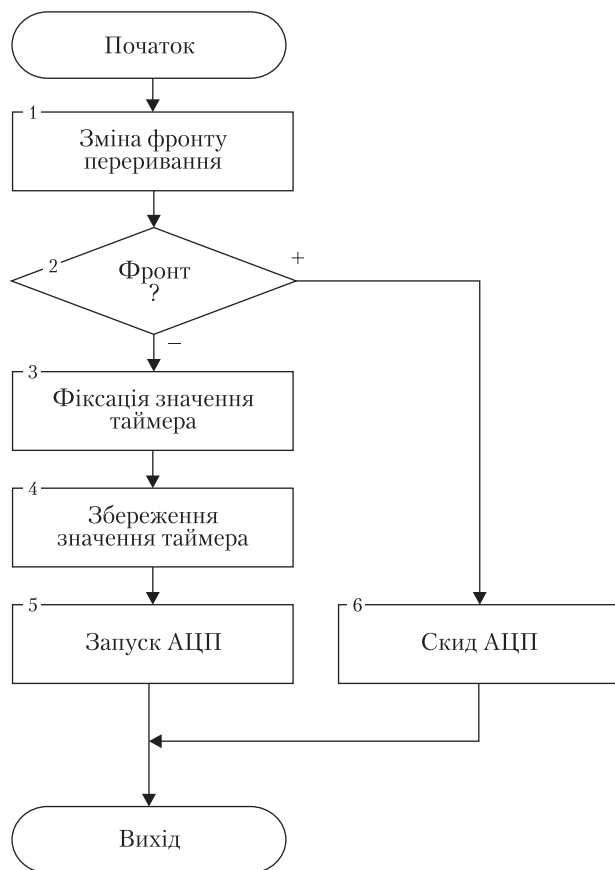


Рис. 7. Блок-схема підпрограми обробки переривання компаратора

ревищення сигналом порогу, то послідовно відбувається фіксація та збереження значення таймера ПППМ (блоки 3, 4), яке приймається за момент приходу сигналу АЕ на первинний перетворювач відповідного каналу. Блок 3 підпрограми ініціює запуск роботи 12-розрядного АЦП мікроконтролера, для якого задано циклічний одноканальний режим перетворення. Згасання сигналу нижче порогу дискримінації призводить до зворотного спрацювання компаратора, відповідно блок 6 підпрограми зупиняє роботу АЦП.

При завантаженні результату перетворення в регістр даних ADC12MEM0 встановлюється прапорець переривання ADC12IFG0. Якщо встановлені також біт ADC12IE0 і біт загального дозволу переривань GIE, то генерується запит на переривання. Біт ADC12IFG0 ски-

дається автоматично при зверненні до регістра ADC12MEM0 або ж може бути скинутий програмно.

Підпрограма обробки переривання АЦП здійснює збереження результату перетворення з регістра ADC12MEM0, а також пошук максимального значення на одержаному масиві.

Підпрограма обробки переривання таймера відповідає вектору переривання регістра TVCCR0 для біта CCIFG. Прапорець переривання CCIFG встановлюється при досягненні таймером у процесі рахунку значення, що зберігається в регістрі TVCL0. При переході таймера від значення, записаного в регістрі TVCL0, до нульового блокується переривання компаратора та робота АЦП, ініціюється початок передачі інформації.

На рис. 8 наведені часові діаграми роботи приймачів—передачів системи, які розкривають принцип синхронізації таймерів ПППМ. Після закінчення процесу нагромадження акусто-емісійної інформації протягом часу T_{ac} приймачі—передачі ПППМ послідовно переводяться на час T_t із сплячого режиму в режим передачі (рис. 8, а, б, в).

Формат інформаційної частини пакета, що передається на БППМ, наведено на рис. 9. В першому байті зберігається номер ПППМ, в другому — кількість зареєстрованих імпульсів АЕ. На час приходу імпульсу відводиться три байти, на його амплітуду — два. Розмір інформаційного масиву не може бути більшим 52.

Після закінчення передачі приймач—передач кожного ПППМ переводиться в режим прийому. Протягом часу T_r (рис. 8, а) відбувається прийом керуючої інформації з БППМ (рис. 8, з). Це, зокрема, відлік часу N_i ($i = 1, \dots, 8$) базового таймера (рис. 8, д), який використовується для синхронізації таймера кожного ПППМ.

Приймач—передач ПППМ в активному режимі перебуває тільки протягом часу

$$T_{ire} = T_t + T_r, \quad (1)$$

решту часу він знаходиться в стані сну. Такий підхід дає можливість значно зменшити його

споживання. Приймач—передавач бази здійснює обмін інформацією з периферійними пристроями протягом часу

$$T_{tra} = T_{tre} * 8, \quad (2)$$

решту часу він очікує інформацію з ПППМ (рис. 8, з).

Програмне забезпечення блоків системи розроблялося в середовищі IAR Embedded Workbench IDE, яке є потужним засобом розробки для мікроконтролерів MSP430.

Блок-схема розробленого інформаційного програмного забезпечення ПК, яка здійснює управління 8-канальною радіотелеметричною акустико-емісійною системою, а також служить для зберігання, обробки та візуалізації діагностичної інформації, наведена на рис. 10.

У блоці 1 програми здійснюється підключення БППМ до комп'ютера через порт USB. Блок 2 здійснює початкову ініціалізацію глобальних змінних програми, використовуючи *ini*-файл. Сюди слід віднести можливість задати необхідну кількість АЕ-каналів, які будуть використовуватися, типу об'єкту контролю (лінія, площина, циліндр, сфера), порогів дискримінації шумів в АЕ-каналах, координат ПАЕ, а також параметрів налаштування радіоканалу (потужність та підсилення приймача—передавача).

Блок проводить також планування експерименту, направлено на ефективний відбір сигналу АЕ. При цьому задається ім'я файлу, в якому будуть зберігатися дані експерименту; задаються, обчислюються та визначаються експериментально, виходячи із конкретних умов експерименту, значення основних параметрів функціонування ПППМ-ів та БППМ-системи:

- 1) поріг дискримінації U_p сигналу каналів АЕ;
- 2) потужність радіопередавачів ПППМ-ів та БППМ (визначається експериментально і залежить від максимальної віддалі між ПППМ та БППМ);
- 3) підсилення радіоприймачів ПППМ-ів та БППМ (також визначається експериментально). Тут же в залежності від типу та розмірів

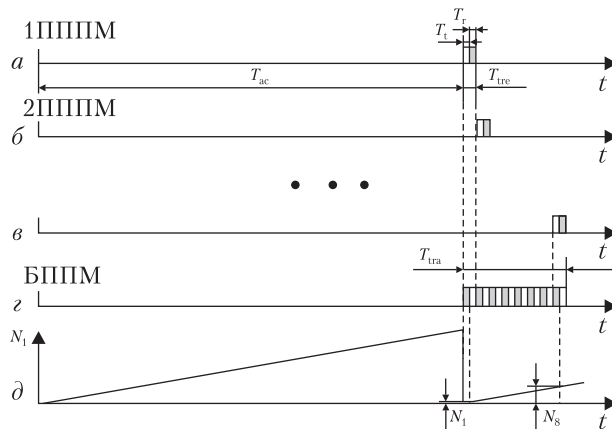


Рис. 8. Часові діаграми роботи приймачів—передавачів системи

№ ПППМ	к-сть даних	Момент приходу 1-го імпульса АЕ	Амплітуда 1-го імпульса АЕ	...	Момент приходу N-го імпульса АЕ	Амплітуда N-го імпульса АЕ
1 байт	1 байт	3 байти	2 байти	...	3 байти	2 байти
n ≤ 52						

Рис. 9. Структура інформаційної частини пакета, що передається з ПППМ на базу

об'єкту контролю вибирається положення системи координат, задається розміщення ПАЕ та визначаються їх координати.

Також задається апріорно або визначається експериментально значення швидкості поширення акустичної хвилі в контрольованому об'єкті. Швидкість акустичної хвилі є обов'язковим вхідним параметром алгоритму обчислення координат джерел АЕ.

Блок забезпечує вибір одного із чотирьох режимів функціонування системи:

- 1) основний режим, в якому відбувається відбір, попередня обробка, нагромадження, візуалізація та збереження вимірювальної інформації, представлена сигналами АЕ під час моніторингу відповідальних промислових об'єктів та конструкцій;
- 2) режим «Контроль»;
- 3) режим «Тест»;
- 4) режим «Налаштування».

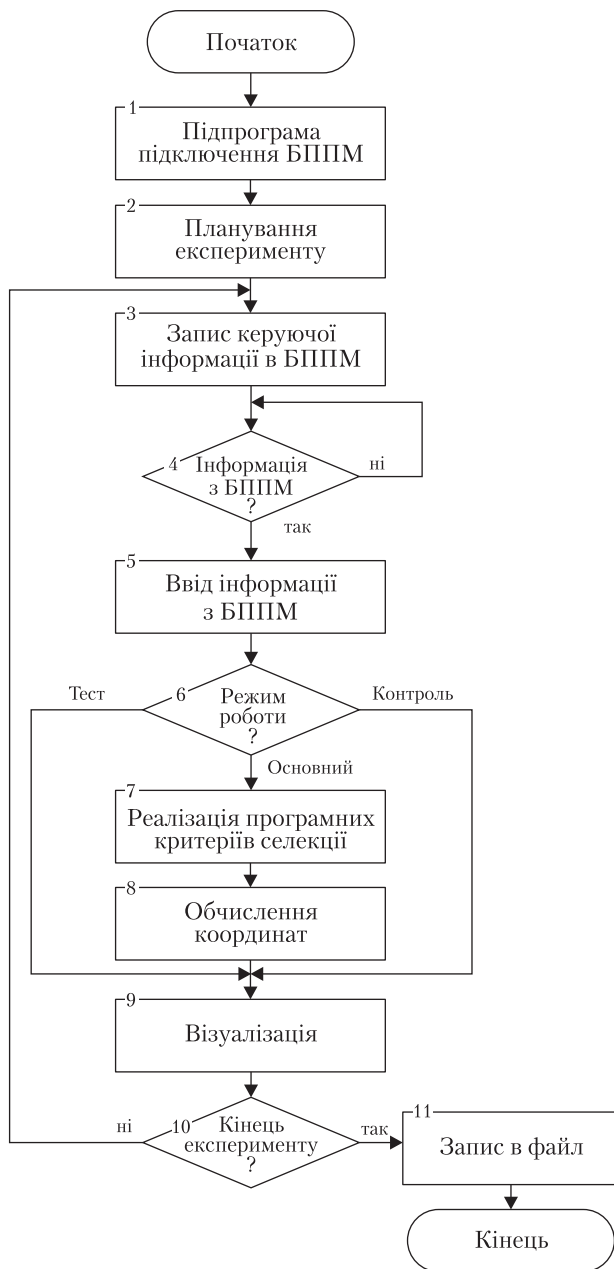


Рис. 10. Блок-схема програмного забезпечення телеметричної системи

Блок 3 організовує запис керуючої інформації в БППМ, після чого програма переходить в режим очікування інформації з БППМ (блок 4). З одержанням підтверджуючої квитанції відбувається перехід на блок 5, який організовує послідовний ввід з БППМ пакетів даних. В залежності



Рис. 11. Загальний вигляд бездротової акустико-емісійної діагностичної системи

від вибраного при плануванні режиму роботи в блоці 6 відбувається розгалуження програми.

В основному режимі блок 7 здійснює перевірку введених даних на предмет їх приналежності справжнім джерелам АЕ за низкою програмних критеріїв [17]. Для комбінацій РЧП, які задовольняють критерії, відповідні до геометрії акустичної антени, у блоці 8 відбувається обчислення координат джерела АЕ.

Блок 9 здійснює візуалізацію результатів обробки в системі координат, яка відповідає типу локації (лінійна локація, локація на площині, циліндрі, сфері) і вибраній конфігурації антени. У блоці 10 приймається рішення про продовження чи закінчення експерименту. У випадку продовження експерименту відбувається передача управління знову на блок 3. Система готова до чергового вводу інформації з ПППМ. Коли ж ні, то блок 11 здійснює запис введених даних в файл і вихід з програми. У файлі даних, одержаних у цьому режимі, зберігається інформація про амплітуди та моменти появи імпульсів АЕ восьми ПППМ, а також координати джерел АЕ в системі координат, яка відповідає вибраному типу локації.

Під час вибору блоком 2 режимів «Тест» чи «Контроль» блок 6 передає управління на блок

9, де відбувається візуалізація одержаної інформації відповідно тестової пілкоподібної послідовності чи рівня шумів на виході логарифмічного підсилювача. Останній режим використовують з метою оцінки рівня шумів на виході детекторів огинаючої в АЕ-каналах ПППМ для задання оптимального рівня їх дискримінації під час планування експерименту.

Режим «Налаштування» використовується на етапі технічного налаштування БППМ та ПППМ. При цьому перевіряється коректність реакції блоків системи на різноманітні директиви (команди), які посилаються комп'ютером через порт USB.

Програмне забезпечення системи розроблялося в середовищі швидкого візуального проектування DELPHI. Розроблений багатовіконний графічний інтерфейс користувача системи включає головне меню, панель інструментів, стандартні діалогові вікна, спливаючі підказки.

На рис. 11 наведено загальний вигляд блоків бездротової системи в пакувальній тарі. Вона складається із восьми блоків ПППМ, базового блока БППМ, блока імітатора та блоків підсилювачів.

Основні технічні характеристики розробленої системи

Коефіцієнт підсилення попереднього підсилювача.....	35 дБ
Максимальний коефіцієнт підсилення логарифмічного підсилювача.....	92 дБ
Частота дискретизації огинаючої сигналу АЕ.....	0,2 МГц
Розрядність АЦП каналу АЕ.....	12
Похибка вимірювання моменту приходу сигналу АЕ в каналах.....	1 мкс
Об'єм пакета даних ПППМ.....	52 байти
Структура пакета даних.....	номер ПППМ, кількість зареєстрованих імпульсів АЕ (≤ 10), їх амплітуда та час приходу
Величина інтервалу часу нагромадження інформації АЕ в ПППМ.....	до 1 с
Час неперервної роботи ПППМ.....	170 год
Діапазон радіочастот.....	2400 — 2483,5 МГц
Дальність передачі.....	100 м

Розміри:

ПППМ:.....	170 × 83 × 24 мм;
БППМ:.....	125 × 83 × 24 мм

Система пройшла випробування в лабораторних умовах та метрологічну атестацію.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано структуру 8-канальної бездротової акустико-емісійної системи моніторингу об'єктів тривалої експлуатації.

2. Розроблено програмно-алгоритмічне забезпечення для апаратної частини системи та для персонального комп'ютера, який здійснює управління системою та постобробку акустико-емісійної інформації.

3. Створена бездротова акустико-емісійна система відповідає сучасним світовим аналогам як за рівнем технічних характеристик, так і за програмним забезпеченням.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Physical Acoustics Corporation* [Virtual Resource]. — Access Mode: [Електронний ресурс]. — Режим доступу: URL: <http://www.pacndt.com>.
2. *Vallen Systeme: The Acoustic Emission Company* [Virtual Resource]. — Access Mode: [Електронний ресурс]. — Режим доступу: URL: <http://www.vallen.de>.
3. *Briuel&Kjaer* [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://bksv.com>.
4. *IU ИНТЕРИОНИС*. Системы промышленного мониторинга [Електронний ресурс]. — Режим доступу: URL: http://interunis.ru/products/ae_sistemi/.
5. *Акустическая эмиссия*, НПФ Диатон [Електронний ресурс]. — Режим доступу: URL: <http://www.diatontest.ru/index.htm>.
6. *ДИАПРОМЕЛ*. Диагностическая и промышленная электроника [Електронний ресурс]. — Режим доступу: URL: <http://www.diapromel.narod.ru>.
7. *Система регистрации АЭ «Радиоканал»* [Електронний ресурс] // ДИАПАК. — Режим доступу: URL: <http://www.diapac.ru/Wireless.php/>.
8. *Акустико-эмиссионные системы A-Line 32D (DDM/R)* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: URL: http://www.avek.ru/equipment/?section_id=107&item_id=841.
9. *Автоматизированная оценка состояний конструкций зданий и сооружений* [Електронний ресурс] // ГЕОТЕК. — Режим доступу: URL: <http://www.npp-geotek.ru/monitoring/>.

10. *Аппаратная часть системы беспроводной связи ООО «Геотек» [Электронный ресурс] // Геотек. — Режим доступа: URL: <http://www.npp-geotek.ru/monitoring/articles/wireless/wireless.php>.*
11. Недосека А.Я., Недосека С.А., Яременко М.А. и др. О непрерывном мониторинге хранилищ жидкого аммиака // Автоматическая сварка. — 2004. — № 2. — С. 10—17.
12. Недосека А.Я., Недосека С.А., Яременко М.А. и др. Об опыте применения АЭ технологии при непрерывном мониторинге оборудования Одесского припортового завода // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. — 2008. — № 2. — С. 85—95.
13. Скальський В.Р., Клим Б.П., Плахтій Р.М., Почапський Є.П., Станкевич О.М., Толопко Я.Д. Портативна система 8КОР-8М для вимірювання та аналізу сигналів акустичної емісії // Наука та інновації — 2010. — № 3. — С. 20—29.
14. Скальський В.Р., Клим Б.П., Почапський Є.П., Плахтій Р.М., Толопко Я.Д., Коссак Ю.З., Станкевич О.М. Двопроцесорна акустико-емісійна телеметрична система // Наука та інновації. — 2011. — Т.7. — № 6. — С. 33—43.
15. Пат. України № 100073: G01N29/14. Спосіб радіотелеметричної передачі акустико-емісійної інформації / Скальський В.Р., Назарчук З.Т., Клим Б.П., Станкевич О.М., Почапський Є.М., Плахтій Р.М., Толопко Я.Д., Коссак Ю.З. — Опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21.
16. Акустико-емісійна телеметрична система діагностування великогабаритних об'єктів / В.Р. Скальський, Б. П. Клим, Є.П. Почапський та ін. // VI Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтопромислового обладнання»: збірник тез доповідей (29 листопада — 2 грудня 2011 р., м. Івано-Франківськ, Україна). — Івано-Франківськ, 2011 р. — С. 73—77.
17. Назарчук З.Т., Скальський В.Р., Почапський Є.П. Технології відбору та опрацювання низькоенергетичних діагностичних сигналів. — К.: Наук. думка, 2014. — 304 с.
5. *Akusticheskaja jemissija, NPF Diaton [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupu: URL: <http://www.diatontest.ru/index.htm> [in Russian].*
6. *DIAPROMEL. Diagnosticheskaja i promyshlennaja jelektronika [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupu: URL: <http://www.diapromel.narod.ru> [in Russian].*
7. *Sistema registracii AJe «Radiokanal» [Jelektronnyj resurs]. DIAPAK. Rezhim dostupu: URL: <http://www.diapac.ru/Wireless.php/> [in Russian].*
8. *Akustiko-jemissionnye sistemy A-Line 32D (DDM/R) [Jelektronnyj pecypc]. Rezhim dostupu: URL: http://www.avek.ru/equipment/?section_id=107&item_id=841 [in Russian].*
9. *Avtomatizirovannaja ocenka sostojanij konstrukcij zdanij i sooruzhenij [Jelektronnyj resurs]. GEOTEK. Rezhim dostupu: URL: <http://www.npp-geotek.ru/monitoring/> [in Russian].*
10. *Apparatnaja chast' sistemy besprovodnoj svjazi ООО «Geotek» [Jelektronnyj resurs]. Geotek. Rezhim dostupu: URL: <http://www.npp-geotek.ru/monitoring/articles/wireless/wireless.php> [in Russian].*
11. Nedoseka A.Ja., Nedoseka S.A., Jaremenko M.A. i dr. O nepreryvnom monitoringe hranilishh zhidkogo ammiaka. *Avtomaticheskaja svarka*. 2004, N 2: 10—17 [in Russian].
12. Nedoseka A.Ja., Nedoseka S.A., Jaremenko M.A. i dr. Ob opyte primenenija AJe tehnologii pri nepreryvnom monitoringe oborudovanija Odesskogo priportovogo zavoda. *Tehnicheskaja diagnostika i nerazrushajushhij kontrol'*. 2008, N 2: 85—95 [in Russian].
13. Skal's'kij V.R., Klim B.P., Plahitij R.M. ta in. Portativna sistema 8KOR-8M dlja vimirjuvanija ta analizu signaliv akustichnoi emisii. *Nauka innov*. 2010, 6(3): 20—29 [in Russian].
14. Skal's'kij V.R., Klim B.P., Pochaps'kij E.P. ta in. Dvo-procesorna akustiko-emisijna telemetrichna sistema. *Nauka innov*. 2011, 7(6): 33—43 [in Russian].
15. *Pat. Ukraïny № 100073: G01N29/14. Sposib radiotelemetrichnoi peredachi akustyko-emisijnoi informacii*. Skal's'kij V.R., Nazarchuk Z.T., Klym B.P. ta in. [in Ukrainian].
16. *Akustyko-emisijna telemetrichna sistema diagnostuvannja velykogabarytnyh ob'ektiv*. V.R. Skal's'kij, B.P. Klym, Je.P. Pochaps'kij ta in. VI Mizhнародna naukovo-tehnichna konferencija «Suchasni prylady, materialy i tehnologii' dlja nerujnivnogo kontrolju i tehnicnoi' diagnostyky mashynobudivnogo i naftopromyslovogo obladnannja» (29 lystopada — 2 grudnja 2011, Ivano-Frankivs'k, Ukraïna). Ivano-Frankivs'k, 2011: 73—77 [in Ukrainian].
17. Nazarchuk Z.T., Skal's'kij V.R., Pochaps'kij Je.P. *Tehnologii' vidboru ta opracjuvanija nyz'koenergetychnyh diagnostychnyh signaliv*. Kyiv: Nauk. dumka, 2014 [in Ukrainian].

REFERENCES

1. *Physical Acoustics Corporation [Virtual Resource]. Access Mode. URL: <http://www.pacndt.com>.*
2. *Vallen Systeme: The Acoustic Emission Company [Virtual Resource]. Access Mode. URL: <http://www.vallen.de>.*
3. *Briuel&Kjaer [Virtual Resource]. Access Mode: URL: <http://bksv.com>.*
4. *IU INTERJuNIS. Sistemy promyshlennogo monitoringa [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupu: URL: http://interunis.ru/products/ae_sistemi/ [in Russian].*

*В.Р. Скальський, Е.П. Почапский,
Б.П. Клим, О.Г. Симакович, Я.Д. Толопко,
П.П. Великий, П.М. Долишний*

Физико-механический институт
им. Г.В. Карпенко НАН Украины, Львов

**ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ
АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ
ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ
НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА**

Предложена структура диагностической 8-канальной системы беспроводной передачи акустико-эмиссионной информации во время мониторинга объектов длительной эксплуатации. Представлены результаты разработки программно-алгоритмического обеспечения для аппаратной части системы и для персонального компьютера, осуществляющего управление системой и постобработку акустико-эмиссионной информации. Приведены основные технические характеристики системы.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, система беспроводной передачи информации, программное обеспечение.

*V.R. Skalsky, Ye.P. Pochapsky,
B.P. Klym, O.H. Simakovych, Ya.D. Tolopko,
P.P. Velyky, P.M. Dolishniy*

H.V. Karpenko Physico-Mechanical Institute,
NAS of Ukraine, Lviv

**DIAGNOSTIC SYSTEM
OF WIRELESS ACOUSTIC EMISSION SIGNAL
TRANSFER FOR MONITORING
OIL-AND-GAS FACILITIES**

The structure of diagnostic 8-channel system for wireless transfer of acoustic emission information during monitoring the objects of long operation is revealed. The results of the development of algorithmic software for hardware system and personal computer, which performs system control and post-processing of acoustic emission information, are presented. The basic specifications of the system are described.

Keywords: acoustic emission, system of wireless information transfer, software.

Стаття надійшла до редакції 15.06.15