

**БАГАТОКАНАЛЬНИЙ АНАЛІЗАТОР  
ДЛЯ НЕЙТРОННОГО СПЕКТРОМЕТРА ЗА ЧАСОМ ПРОЛЬОТУ**

© 2010 А. П. Войтер, В. І. Слісенко, М. І. Доронін, І. О. Мазний, О. А. Василькевич,  
В. В. Голік, О. М. Ковальов, В. І. Копачов, В. Г. Савчук

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

Розглянуто новий багатоканальний аналізатор нейтронного спектрометра за часом прольоту для вимірювання енергетичних і кутових розподілів нейтронів на реакторі ВВР-М. Аналізатор розроблено для заміни фізично та функціонально застарілого діючого аналізатора з метою розширення кількості вимірювальних каналів, підвищення точності вимірювань, скорочення часу налагодження каналів та забезпечення їхнього автоматичного моніторингу протягом експерименту.

*Ключові слова:* аналізатор, нейтрони, спектри, блоки, програмне забезпечення.

**Вступ**

Вимірювання енергетичних і кутових розподілів розсіяних нейтронів здійснюється на багатодетекторному нейтронному спектрометрі за часом прольоту, установленому на 1-му горизонтальному каналі реактора ВВР-М ІЯД НАН України [1]. У цьому спектрометрі розсіяні на зразку нейтрони реєструються під різними кутами системою з восьми детекторів, які перекривають область кутів від 9,5 до 116,5 град та розташовані на відстані 2,87 м від центра зразка.

Для вимірювання енергетичних спектрів розсіяних нейтронів використовується система багатомірного часового аналізу, що складається з восьми вимірювальних трактів та одного моніторного, за допомогою якого проводиться калібровка системи коліматорів, кристала-монохроматора та механічного переривача. Використовується моніторний тракт також для визначення роздільної та відбиваючої здатності кристала-монохроматора, пропускання досліджуваних зразків, розподілу інтенсивності нейтронів у площині монохроматичного пучка. Електричні імпульси з виходу системи поступають на 9-канальний аналізатор, який дозволяє одночасно реєструвати вісім спектрів розсіяних нейтронів, а також дає інформацію про загальну кількість зареєстрованих нейтронів у кожному спектрі. У такій геометрії багатодетекторний спектрометр використовується в дослідженнях динаміки кристалічної ґратки та ефектів кристалічного електричного поля.

При дослідженні дифузійних процесів, що відбуваються в рідкому стані речовини, необхідно додатково вивчати розсіяння нейтронів на відносно малих кутах. Для цього передбачається сьомий і восьмий детектори, які розміщені на кутах 25,1 і 9,5 град відповідно, розбити на три групи кожний, що дасть змогу додатково отримувати ще шість нейтронних спектрів для кутів

27,1, 24,1, 23,1, 11,5, 10,5 та 8,5 град. У зв'язку з цим виникає необхідність заміни 9-канального аналізатора, що використовується на сьогоднішній день, 17-канальним аналізатором. Крім того, потребує модернізації сама процедура налагодження вимірювальних трактів з метою підвищення її точності.

**Архітектура аналізатора**

Архітектура аналізатора представлена на рис. 1. Аналізатор має 16 вимірювальних каналів з додатковим моніторним каналом, які інтегровані системною шиною ISA. Вимірювальні канали об'єднані через аналогові комутатори з номером детектора (АКНД) у два кластери по вісім трактів ( $D_1$ - $D_8$  та  $D_9$ - $D_{16}$ ).

У кожному кластері сигнали від трактів  $D_i$  ( $i = 1 - 16$ ) через відповідні програмовані підсилювачі ПП надходять до АКНД, який має дві групи вихідних сигналів. Перша група у складі скомутованого вхідного сигналу та трирозрядного коду номера  $D_i$  надходить на вхід амплітудно-цифрового перетворювача (АЦП) для амплітудної фільтрації, друга група з восьми сформованих та селектованих за амплітудою імпульсів з детекторів – на вхід вимірювача часових інтервалів (ВЧІ). На два інших входи ВЧІ подаються сигнал початку відліку інтервалу часу від формування імпульсу часової прив'язки (ФІЧП) та сигнал з дискримінатора нижнього рівня АЦП моніторного каналу.

ПП, АКНД, АЦП та ВЧІ є пристроями з програмним управлінням від системного комп'ютера. У ПП програмно встановлюється коефіцієнт підсилення, що необхідно при амплітудній фільтрації сигналів з каналів та поточній їхній корекції. В АКНД програмно встановлюються значення нижніх порогів дискримінації. АЦП та ВЧІ крім можливості програмної установки їхніх робочих параметрів є активними пристроями, що

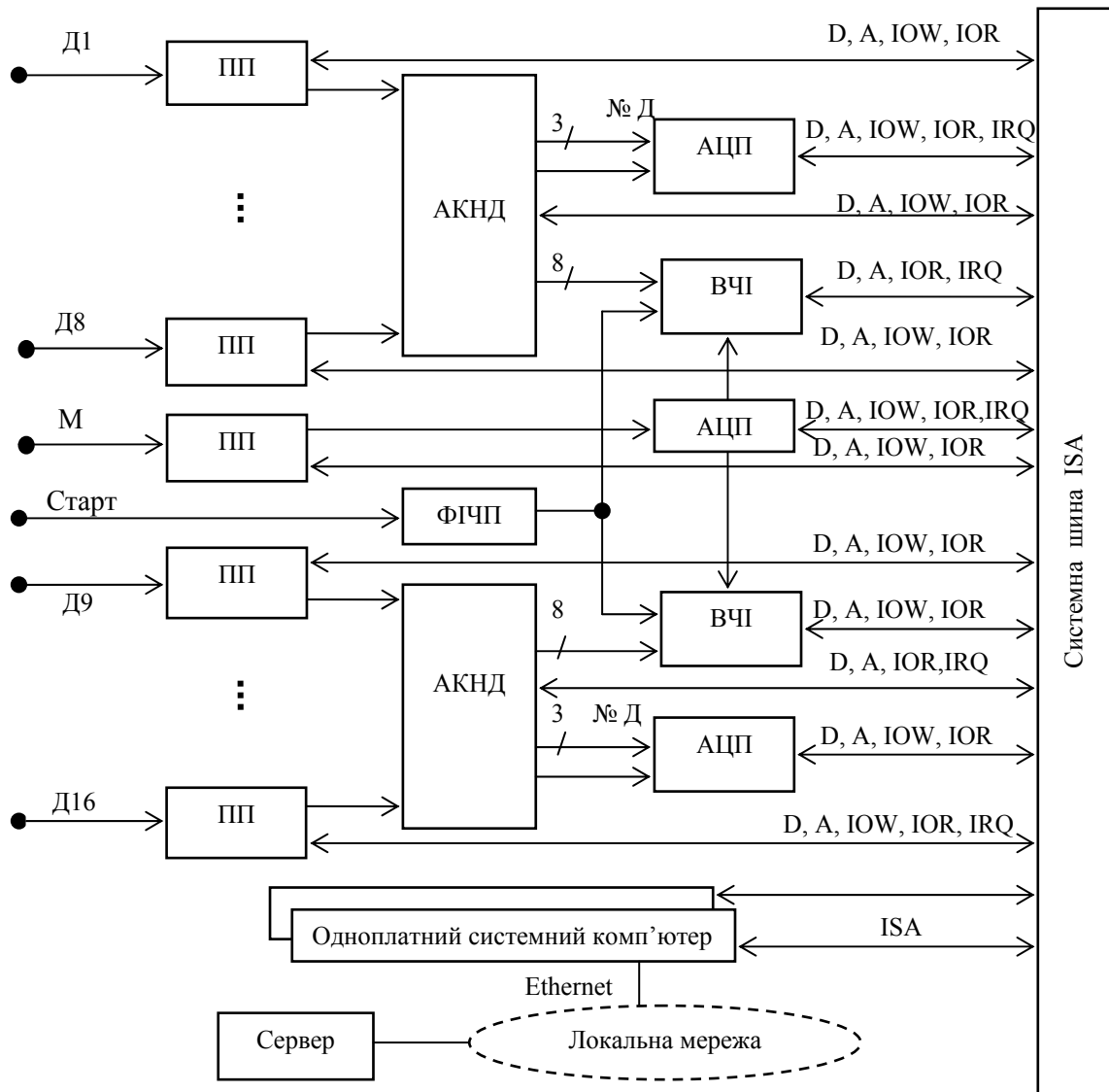


Рис. 1. Архітектура аналізатора.

формують сигнали переривання IRQ при наявності даних вимірної амплітуди імпульсу (в АЦП) або відповідного заповнення буферної пам'яті значеннями інтервалів часу (у ВЧІ).

Моніторний канал використовується для амплітудного аналізу з метою спостереження за ходом вимірювання, а також для управління накопичення часових інтервалів у кластерах аналізатора.

Управління роботою аналізатора здійснюється системними комп'ютерами (СК), причому з конструктивних міркувань кожен з кластерів обслуговується окремим комп'ютером, які через локальну мережу об'єднані з сервером аналізатора.

### Технічні складові аналізатора

Для реалізації часового аналізатора було розроблено ряд нових блоків ядерної електроніки, зокрема:

**ПП з програмним управлінням коефіцієнтом підсилення.** ПП має один порт запису/зчитування, адреса якого встановлюється перемикачем на платі. Адресний простір ПП розташований в інтервалі 308h-33Fh. Програмне встановлення коефіцієнта підсилення ПП здійснюється операцією запису коду підсилення в регістр управління. Чотири молодших розряди регістра управління призначені для плавного регулювання коефіцієнта підсилення ( $K_{пл}$ ), 5-й та 6-й розряди – для грубого регулювання коефіцієнта підсилення ( $K_{гр}$ ), 7-й розряд – для включення множника М коефіцієнта підсилення на 10. При цьому коефіцієнт підсилення визначається як добуток:  $K = K_{пл} K_{гр} M$ . Після включення аналізатора в ПП усі розряди регістра управління мають нульове значення. Визначення поточного стану регістра управління здійснюється шляхом його зчитування. Структуру регістра управління ПП показано на рис. 2.

Розряди регістра управління								
8	7	6	5	4	3	2	1	
M=1	0			0	0	0	0	$K_{\text{мр}}=1$
M=10	1			0	0	0	1	$K_{\text{мр}}=1,1$
$K_{\text{тр}}=1$	0	0	0	0	0	1	0	$K_{\text{мр}}=1,2$
$K_{\text{тр}}=2$	0	1	*****					
$K_{\text{тр}}=5$	1	0	1	1	1	1	1	$K_{\text{мр}}=2,5$

Рис. 2. Структура байта управління ПП.

Основні технічні характеристики підсилювача

Вхідний опір, кОм	$1 \pm 0,05$
Вхідна ємність, пФ	10
Полярність вхідних імпульсів	+ чи -
Амплітуда вхідних імпульсів, В	не більше 5
Максимальна амплітуда вихідного сигналу на опорі 1 кОм, В	5,5
Вихідний опір, Ом	50
Діапазон значень коефіцієнта підсилення	від 1 до 1250
Програмне переключення коефіцієнта підсилення ступенями	10, 20, 50; 100; 200; 500
Плавне регулювання коефіцієнта підсилення	від 1 до 2,5
Атенюатор	x 0,1
Інтегральна нелінійність у робочому діапазоні амплітуд, %	$\leq 0,05$
Нестабільність коефіцієнта підсилення за 8 год безперервної роботи, %	$\leq 0,2$
Максимальне вхідне завантаження, імп/с	$\leq 1,0 \cdot 10^5$
Час відновлення базової лінії після впливу перевантаження	$\leq 15 \tau$
Живлення підсилювача	від СК
Зміна коефіцієнта підсилення в робочому діапазоні температур, % на 1 град	$\leq 0,02$
Системний інтерфейс	ISA
Габаритні розміри, мм	$190 \times 120 \times 25$

Конструктивно на одній платі розташовано два підсилювача (рис. 3).

АКНД є 8-канальним блоком, що здійснює селекцію, формування та передачу номера одного з восьми трактів, з якого надійшов електричний імпульс, що ідентифікує проходження нейтрона через детектор. Структурну схему АКНД представлено на рис. 4. На схемі використано такі скорочення: ПВЗ - пристрій вибірки та збереження; АК - аналоговий комутатор, реалізований на мікросхемі ADG408; СУ - схема управління на програмованій логічній матриці Altera

ЕРМ7128S; ДНУ - дискримінатор нижнього рівня; А - аналоговий вихід; № Д - двійковий код входу АКНД, на який надійшов імпульс; ІЧС - імпульс часової селекції.

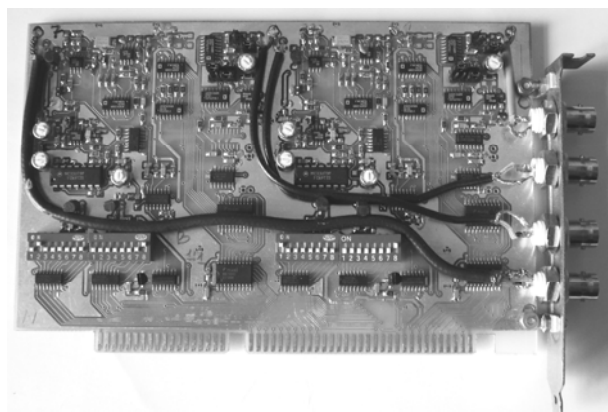


Рис. 3. Конструкція ПП.

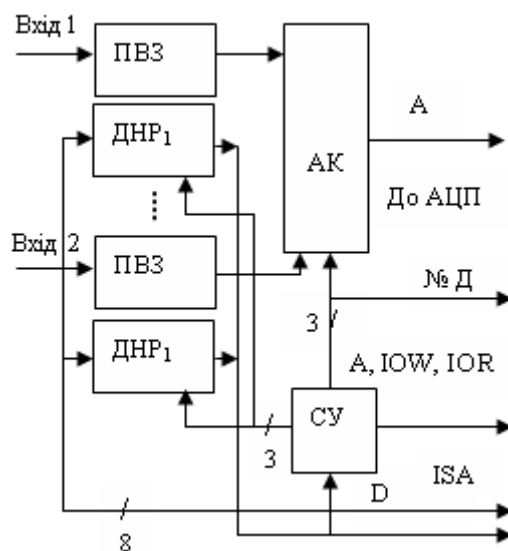


Рис. 4. Структурна схема АКНД.

Кожен з каналів АКНД містить два блоки - ПВЗ та ДНР. ПВЗ визначає та запам'ятовує максимальне значення сигналу. Він виконаний на мікросхемах AD8066. Поріг ПВЗ встановлює 8-розрядний цифроаналоговий перетворювач (ЦАП), до якого записуються дані від системного комп'ютера по шині ISA.

Схема управління вибирає один з восьми ЦАП для запису даних залежно від коду в трьох молодших розрядах регістра команд і стану (РКС) у складі СУ. Блок ДНР відбирає вхідні імпульси, амплітуда яких знаходиться в заданому діапазоні, і формує сигнал запиту каналу на обслуговування. Схема управління забезпечує:

- запис значень порогів ПВЗ за попередньо записаним в РКС номером каналу;
- запис кодів в РКС;
- формування сигналів СТАРТ і СТОП, необ-

хідних для роботи АКНД;  
 зчитування стану АКНД з РКС;  
 трансляцію на вихід АКНД аналогового сигналу імпульсу або з попередньо визначеного входу, або з будь-якого з восьми входів;  
 формування стробуючого сигналу для запуску АЦП;  
 формування коду номера входу АКНД;  
 Аналоговий комутатор пропускає на вихід АКНД сигнал або з будь-якого з восьми ПВЗ, або з ПВЗ, номер якого попередньо занесено до РКС.  
 Для програмного управління АКНД використовується чотири порта (регістра) запису-зчитування наступного формату з адресами відносно базової адреси (БА):

Адреса	Зчитування	Запис
БА	Не використовується	Код ДНР за номером входу в РКС
БА + 1	Не використовується	СТОП
БА + 2	Не використовується	СТАРТ
БА + 3	Код стану	Код команди

Формат РКС АКНД

Розряди								Зміст
0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	0						Код входу для запису порога ДНУ. Код номера входу примусової комутації
0	0	1						
1	1	1						
			0					На виході будь-який вхід
			1					На виході заданий вхід
						0		Режим "Робота"
						1		Режим "STOP"
							1	Є дані в АЦП
							0	Немає даних в АЦП

Технічні характеристики АКНД

Кількість входів	8
Максимальна амплітуда вхідного сигналу, В	5
Вхідний опір, кОм	2
Полярність вхідного сигналу	+
Максимальна амплітуда вихідного сигналу, В	5
Вихідний опір, Ом	50
Рівень порога дискримінованих	25 мВ - 1,3 В
Кількість ступенів порога дискримінованих	256
Управління режимами роботи	програмне
Системний інтерфейс	ISA
Живлення	від СК
Габаритні розміри, мм	230 × 100 × 35

Конструктивно АКНД виконано у вигляді плати з інтерфейсом ISA (рис. 5).

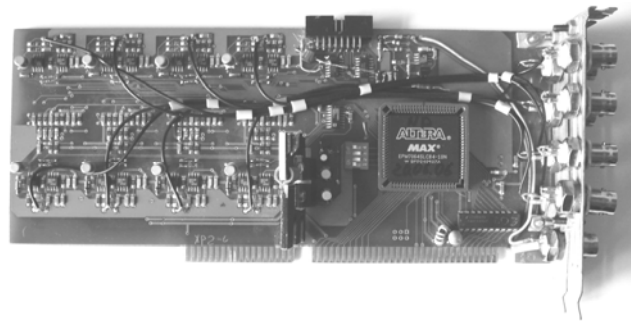


Рис. 5. Конструкція АКНД.

АЦП, що використовується в аналізаторі, є приладом з широким набором можливостей. Його основні технічні характеристики та схематіку наведено в [2]. Тому відзначимо лише особливості його архітектури, важливі для програмування. В адресному просторі системного комп'ютера АЦП займає вісім портів запису-зчитування (регістрів). Нижче наведено опис цих регістрів у режимах запису та зчитування. Адреси регістрів АЦП показано відносно БА.

Адреса	Зчитування	Запис
БА	Молодший байт даних	Код дискримінатора нуля
БА + 1	Старший байт даних	Код дискримінатора нижнього рівня
БА + 2	Молодший байт лічильника втрат	Не використовується
БА + 3	Середній байт лічильника втрат	RESET
БА + 4	Старший байт лічильника втрат	
БА + 5	Не використовується	START
БА + 6	Не використовується	STOP
БА + 7	Код стану РКС	Код команди РКС

Формат РКС АЦП

Розряди								Зміст
0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0							1 К каналів на 5 В
0	1							2 К каналів на 5 В
1	0							4 К каналів на 5 В
0	1							32 К каналів на 5 В
		0						Полярність управління +
		1						Полярність управління -
			0					Режим збігу

Розряди								Зміст
0	1	2	3	4	5	6	7	
			1					Режим стробу
				0				Без спектра втрат
				1				Із спектром втрат
					0			Робота без АКНД
					1			Робота з АКНД
						0		Режим "Робота"
						1		Режим "STOP"
							0	Немає даних (IRQ = 0)
							1	Є дані (IRQ = 1)

**ВЧІ** призначено для отримання часових розподілів по восьми вимірювальних каналах та одному моніторному розмірністю 0,5, 1 або 2 К з шириною каналу 4, 8 або 16 мкс. Подробиці його технічної реалізації наведено в [2]. Для програмування роботи ВЧІ доступними є чотири адреси: БА – для зчитування даних, що відображають кожну подію – надходження імпульсу з одного з вимірювальних трактів; БА + 1 – для запису сигналу "Старт"; БА + 2 – для запису сигналу "Стоп" та БА + 3 – для запису та зчитування даних РКС.

Дані про кожну подію містять чотири байти. Перші два байти містять код часу прольоту нейтрона. У четвертому байті у вигляді позиційного коду знаходиться номер вимірювального тракту, в якому зафіксована подія. Ознакою того, що дані належать моніторному тракту, є наявність одиниці в шостому біті третього байта даних. Якщо дані належать вимірювальним трактам, то одиниця встановлюється в сьомому біті третього байта даних. Розмірність даних встановлюється перед початком вимірювань у відповідності з обраною шириною каналу.

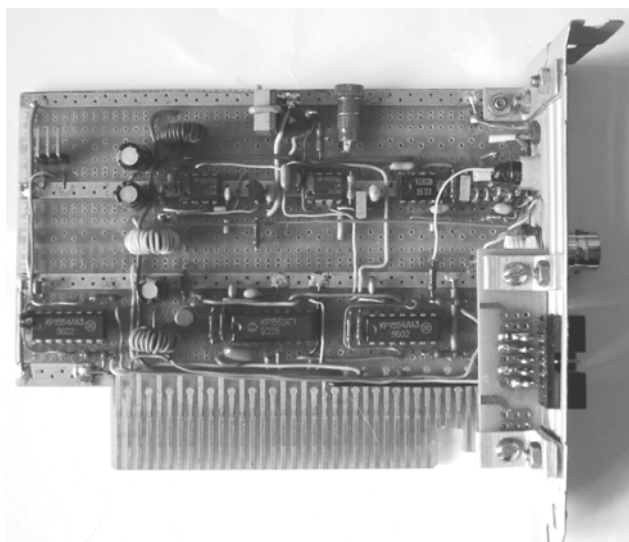


Рис. 6. Конструкція модуля ФІЧП.

Дані зчитуються з ВЧІ при наявності переривання, яке ініціюється при готовності даних установленням одиниці в сьомому розряді РКС.

**ФІЧП** є спеціалізованим модулем для формування з сигналу, що надходить від магнітного датчика механічного переривача спектрометра, електричного сигналу часової прив'язки, який використовується як стартовий для ВЧІ при формуванні часових інтервалів прольоту нейтронів (рис. 6).

Архітектуру та основні технічні параметри системного комп'ютера IOWA-GX наведено в [3].

### Програмне забезпечення

Структурно програмне забезпечення аналізатора складається з трьох частин (рис. 7), що синхронно функціонують у кожному з кластерів.

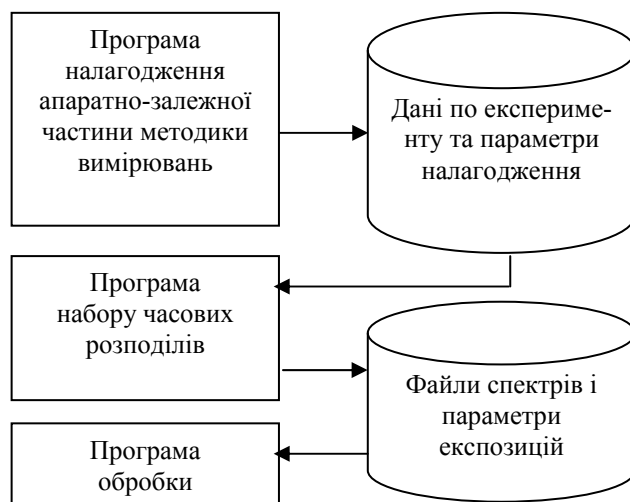


Рис. 7. Загальна структура програмного забезпечення аналізатора.

Програма налагодження апаратно-залежної частини методики вимірювань призначена для перевірки готовності апаратури до роботи та налагодження параметрів рівнів дискримінаторів і коефіцієнтів підсилення. Параметри обираються за показниками амплітудних спектрів. Для цього програма дає змогу накопичувати амплітудні спектри по кожному вимірювальному тракту, оцінювати їхнє завантаження та стан (рис. 8).

Налагодження дискримінаторів апаратури та коефіцієнтів підсилення здійснюється по кожному вимірювальному тракту. При цьому є можливість у ручному режимі встановити характеристики спектра і при необхідності внести відповідні корективи в параметри апаратури. Зображення спектрів відображається кожні дві секунди. Якщо будь-який параметр буде змінено, то спектри обнуляються й відновлюється накопичення. Таким чином, є можливість, змінюючи параметри, дося-

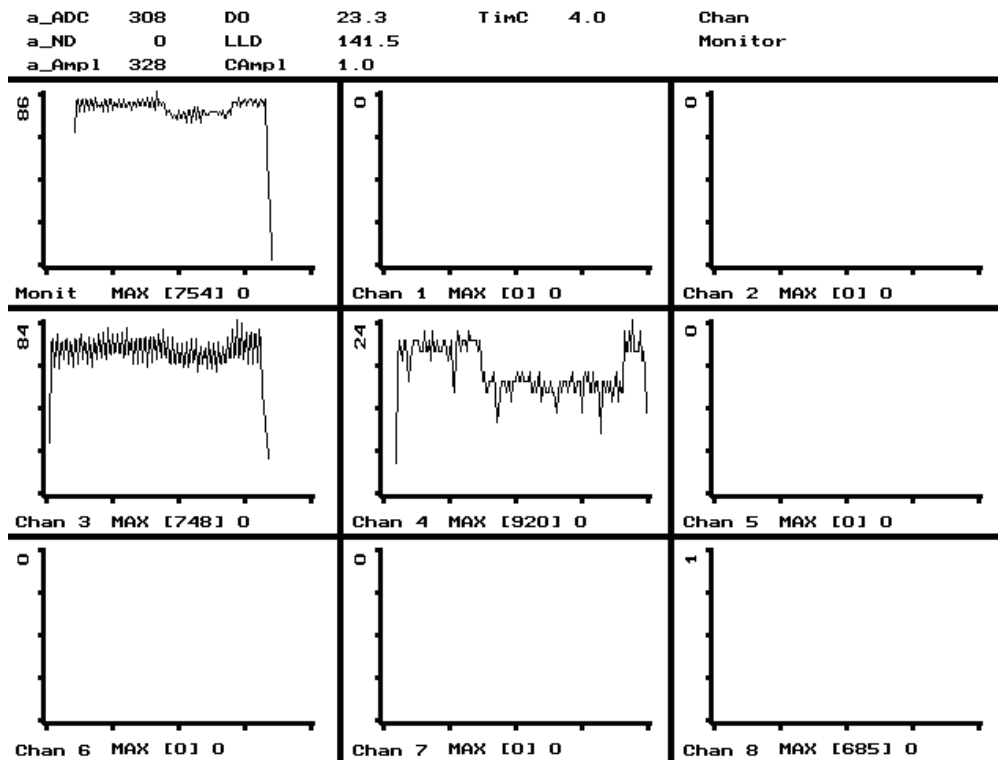


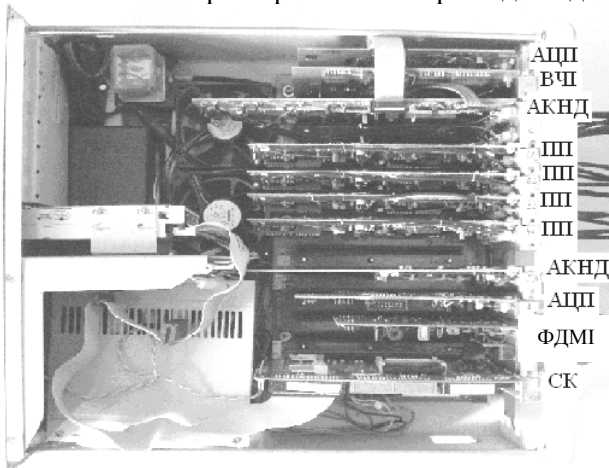
Рис. 8. Амплітудні спектри аналізатора.

гнути бажаних характеристик сигналів, а також відсікти шуми, установити мінімально допустимий сигнал для перетворювача, а коефіцієнтом підсилення зміщувати масштаб перетворення. Усі параметри, динаміка їхніх змін та проміжні спектри автоматично зберігаються в тимчасових файлах, що можуть бути використані для аналізу та повторного налагодження апаратури.

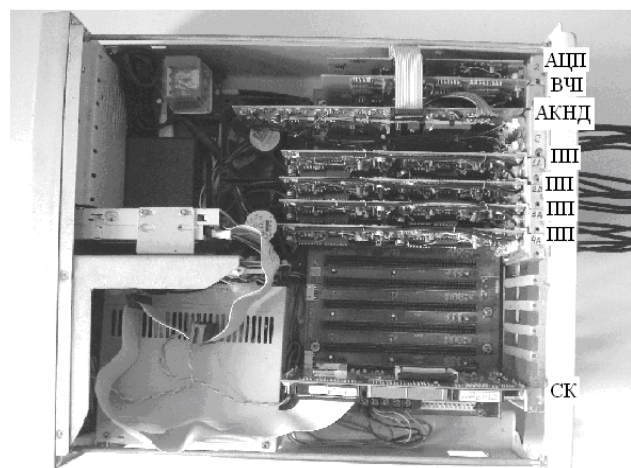
Перед початком набору часових розподілів установлюється розмірність спектра відповідно

до мінімальної ширини каналу, як відзначено раніше при опису особливостей ВЧІ. Накопичені в кожному з блоків аналізатора файли спектрів часових розподілів передаються в сервер для обробки.

Програмне забезпечення має простий та зручний інтерфейс користувача, що суттєво спрощує та пришвидшує налагодження вимірювальних трактів для проведення вимірювань.



а



б

Рис. 9. Конструкція аналізатора.

### Конструкція

Аналізатор побудовано на основі розширювача шини ISA BP-14S-RS-R30. З урахуванням наявності 14 доступних місць для установки плат у

розширювачі аналізатор виконано у двох блоках, кожний з яких реалізує окремий 8-канальний кластер. Один з блоків є головним і відрізняється від іншого (підпорядкованого) наявністю моніторного каналу та плати ФДМІ, що здійснює

синхронізацію. Такий підхід доцільний також з огляду можливого нарощування кількості кластерів в архітектурі аналізатора шляхом підключення відповідної кількості підпорядкованих блоків. Головний блок може використовуватися також як окремий аналізатор з довільною кількістю каналів у межах восьми.

Загальний вигляд аналізатора показано на рис. 9. У головному блоці (а) встановлюється до п'яти плат ПП, дві плати АЦП, плата ФДМІ, плати АКНД, одна плата ВЧІ та СК - одноплатний системний комп'ютер IOWA-GX. Підпорядкований блок (б) не містить лише плати ФДМІ та двох плат моніторного каналу (ПП і АЦП).

### Висновки

Розроблений на основі сучасної мікроелементної бази аналізатор має ряд переваг порівняно з

діючим аналізатором. Завдяки модульності його архітектури вдвічі збільшено кількість вимірювальних каналів, при цьому передбачено можливість подальшого нарощування їхньої кількості шляхом підключення уніфікованих підпорядкованих блоків. Використання більш прецизійних АЦП, гнучкого програмно-керованого регулювання коефіцієнта підсилення та програмного забезпечення з простим та зручним інтерфейсом користувача підвищує точність вимірювань, скорочує час налагодження каналів та забезпечує їхнє автоматичне моніторування протягом експерименту.

Аналізатор буде використано для розширення напрямків експериментальних робіт на дослідницькому реакторі ВВР-М, зокрема в експериментах по дослідженню дифузійних процесів, що відбуваються в рідкому стані речовини.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Булавін Л.А., Кармазіна Т.В., Кленко В.В., Слісенко В.І. Нейтронна спектроскопія конденсованих середовищ. - К.: Академперіодика, 2005. - 640 с.
2. Березин Ф.Н., Войтер А.П., Грашилин В.А. и др. Система регистрации многопараметрических потоков // Ядерная физика та енергетика. - 2007. - № 3(21). - С. 92 - 98.
3. <http://www.rts.ua/rus/catshop/552/20/11417>.

### МНОГОКАНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР ДЛЯ НЕЙТРОННОГО СПЕКТРОМЕТРА ПО ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА

А. П. Войтер, В. И. Слисенко, М. И. Доронин, И. А. Мазный, А. А. Василькевич,  
В. В. Голик, А. Н. Ковалев, В. И. Копачев, В. Г. Савчук

Рассмотрен новый многоканальный анализатор спектрометра по времени пролета нейтронов для измерения энергетических и угловых распределений нейтронов на реакторе ВВР-М. Анализатор разработан для замены физически и функционально устаревшего действующего анализатора с целью расширения количества измерительных каналов, повышения точности измерений, сокращения времени настройки каналов и обеспечения их автоматического мониторинга в течение эксперимента.

*Ключевые слова:* анализатор, нейтроны, спектры, блоки, программное обеспечение.

### MULTICHANNEL ANALYSER FOR THE NEUTRON TIME-OF-FLIGHT SPECTROMETER

A. P. Voiter, V. I. Slisenko, M. I. Doronin, I. O. Maznyj, O. A. Vasilkevich, V. V. Golik,  
O. M. Kovalev, V. I. Kopachev, V. G. Savchuk

New multichannel time-of-flight spectrometer for the measurement of the energy and angular distributions of neutrons from the WWWR-M reactor is considered. This spectrometer has been developed for the replacement of the previous one to increase the number of channels and measurement precision, reduce the time of channel tuning and provide the automatic monitoring during the experiment.

*Keywords:* analyzer, neutrons, spectra, blocks, software.

Надійшла до редакції 24.03.10,  
після доопрацювання - 19.04.10.