

© 2011 А. П. Войтер, О. О. Грицай, М. І. Доронін, О. М. Ковальов,
В. А. Лібман, І. О. Мазний

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

АНАЛІЗАТОР ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ НА ФІЛЬТРОВАНИХ ПУЧКАХ НЕЙТРОНІВ

Розглянуто архітектуру, принципи побудови, реалізацію та програмне забезпечення аналізатора для виконання комплексу нових експериментів на фільтрованих пучках нейтронів на реакторі ВВР-М з використанням модернізованої установки дослідження кутового розсіювання нейтронів.

Ключові слова: аналізатор, нейтрони, експеримент, блоки, програмне забезпечення.

Вступ

Одним із напрямків робіт на реакторі ВВР-М є експериментальні дослідження на фільтрованих пучках нейтронів на восьмому горизонтальному каналі. Для цих досліджень використовується відповідна установка кутового розсіювання нейтронів (УКР), яка поетапно модернізувалась у процесі зміни задач і розвитку експериментальних методик [1]. Остання версія установки УКР-3 розрахована на проведення нових експериментів з метою отримання:

диференційних перерізів розсіювання нейтронів на ядрах та дослідження процесів розсіювання з участю нейтронів з $l > 0$. При цьому вимірювання кутових розподілів розсіювання нейтронів здійснюються двома детекторами одночасно. Перший детектор змінює положення в межах кутів $15 - 165^\circ$ і $195 - 345^\circ$, а другий – у межах кутів $195 - 345^\circ$ і $15 - 165^\circ$ з кроками 15 і 5° ;

резонансних параметрів ядерних рівнів шляхом вимірювання першим детектором повних нейтронних перерізів ядер на розсіюваннях під різними кутами нейтронів у межах $0 - 60^\circ$ з кроком 5° та в межах $15 - 165^\circ$ з кроком 15° ;

повних нейтронних перерізів ядер та дослідження ефектів самоекранування нейтронних перерізів шляхом вимірювання першим детектором, установленим на кут 0° , повних нейтронних перерізів ядер на прямому пучку фільтрованих нейтронів.

У попередніх версіях установки УКР-1 та УКР-2 аналізатор було реалізовано на основі магістрально-модульної системи САМАС, технічні параметри, фізичний і функціональний стан модулів якої не відповідають сучасним вимогам. Зокрема, модуль спектрометричного АЦП 712, який фактично визначає пропускну здатність аналізатора, має, з сучасної точки зору, дуже значний час (24 мкс) перетворення імпульсу в код, що суттєво обмежує ефективність вимірювань. Нинішній стан мікроелектроніки та обчислювальної техніки надає можливість створити новий аналізатор із покращеними параметрами

для виконання програми вимірювань на установці УКР-3.

Загальні принципи організації аналізатора

Основні проблеми, що вирішувались при проектуванні аналізатора:

здійснення швидкості обробки, необхідної для реєстрації потоку даних з інтенсивністю до $3 \cdot 10^5$ імпульсів/с від кожного детекторного тракту;

забезпечення при такій швидкості мінімального викривлення спектра;

забезпечення мінімальних втрат подій;

запровадження програмного управління параметрами аналізатора та режимами роботи установки;

вибір системного інтерфейсу та елементної бази для побудови аналізатора.

Перші три проблеми було вирішено створенням спектрометричного АЦП (САЦП) на основі монолітного інтегрального АЦП загального призначення з відповідними технічними характеристиками. При виборі конкретної моделі АЦП ми виходили з того, що при заданій тривалості імпульсів вхідного потоку його швидкодія повинна перевищувати частоту граничного регулярного потоку, що може бути зареєстрований і вимірний без втрат і перекручувань. Оскільки тривалість імпульсів потоку приблизно 3,5 мкс, то відповідна розрахункова частота дорівнює $3 \cdot 10^5$ імпульсів/с. З цього погляду найбільш придатною моделлю є мікросхема AD7679 [2].

Задача зменшення викривлення спектра розподілу амплітуд вирішується за рахунок застосування САЦП із мінімальними диференціальною (ДНЛ) та інтегральною (ІНЛ) нелінійностями. Це забезпечується виключно низькими значеннями регламентованих фірмою виготовлювачем максимальних величин ДНЛ (1,75 МЗР - молодшого значущого розряду) і ІНЛ (2,5 МЗР). Варто зазначити, що значення ДНЛ і ІНЛ регламентовані для шкали в 2^{18} рівнів перетворення. Отже, для шкали в 2^{11} рівнів, заданої вимогами до аналізатора, вони відповідно в 128 разів менші.

Аналізатори, створені в минулому, базувалися на сполученні вимірювальної та логічної апаратури, виконаної в міжнародних стандартах NIM і SAMAC, з міні-ЕОМ з архітектурою PDP-11, які з часом були замінені на персональні комп'ютери.

З розвитком мікроелектроніки стало недоцільним використання старих стандартів унаслідок низької ефективності апаратури та економічної нерентабельності. Перспективними стали невеликі системи на базі системного блока персонального комп'ютера з використанням конструкції, електроживлення і, що принципово, системного інтерфейсу взаємозв'язку основних вузлів комп'ютера з пристроями ядерної електроніки, які стало можливим розробляти як модулі розширення комп'ютера. На жаль, у серійних комп'ютерах передбачено можливість установки лише декількох модулів розширення, виконаних у стандарті ISA (найпростіший, дешевий та з достатньою швидкістю передачі). Тому аналізатор реалізовано як спеціалізований комп'ютер на основі одноплатного персонального комп'ютера в промисловому виконанні та розширювача шини ISA моделі BS-14, що допускає розміщення до 12 модулів ядерної електроніки.

Архітектура аналізатора

Архітектура аналізатора характеризує його загальну структуру та формати регістрів, що використовуються для програмного керування його технічними складовими. Загальну структуру аналізатора показано на рис. 1. До складу аналізатора входять три вимірювальних тракти (два кутових тракти та один тракт вимірювання на прямому пучку) і система керування установкою УКР-3.

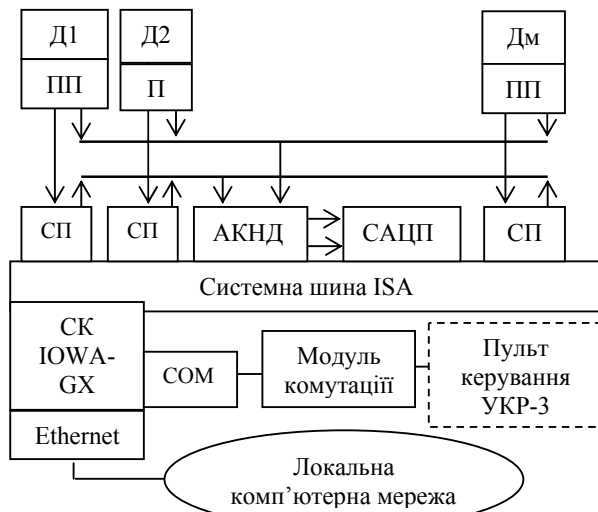


Рис. 1. Структура аналізатора.

Аналізатор має два ідентичних кутових вимірювальних тракти у складі нейтронного детектора кутового розміщення D_i ($i = 1 \div 2$), попереднього підсилювача (ПП) та спектрометричного підсилювача (СП). Усі кутові вимірювальні тракти об'єднані через аналоговий комутатор з номером детектора (АКНД), який забезпечує комутацію імпульсів з їхніх виходів на САЦП та формування номера відповідного кутового тракту. Тракт вимірювання на прямому пучку з детектором D_m має апаратний склад, аналогічний кутовим вимірювальним трактам. Системним комп'ютером (СК) аналізатора є одноплатний комп'ютер IOWA-GX у промисловому виконанні, технічні характеристики якого наведено в [3]. До комунікаційного порту COM системного комп'ютера підключено модуль комутації для програмного керування електроприводом механізму установки УКР-3. СК має зв'язок через інтерфейс Ethernet з локальною комп'ютерною мережею для забезпечення доступу до сервера та інших ресурсів, що можуть використовуватися в процесі експериментів.

СП, АКНД та САЦП є пристроями ядерної електроніки з програмним керуванням від системного комп'ютера через шину ISA [4,5]. Указані пристрої, а також модуль комутації розроблено в Інституті ядерних досліджень НАН України.

СП має один порт запису/зчитування, адреса якого встановлюється перемикачем на платі. Адресний простір СП розташований в інтервалі 308h-33Fh. Програмне встановлення коефіцієнта підсилення СП здійснюється операцією запису коду підсилення в регістр керування. Чотири молодших розряди регістра керування 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 M коефіцієнта підсилення на 10. При цьому коефіцієнт підсилення визначається як добуток: $K = K_{пл} \cdot K_{гр} \cdot M$. Після включення аналізатора в СП усі розряди регістра керування мають нульове значення. Визначення поточного стану регістра керування здійснюється шляхом його зчитування. Регістр керування СП має таку структуру:

| | | Розряди регістра керування | | | | | | | |
|--------------|---|----------------------------|---|---|---|---|-------|---|----------------|
| | | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| $M = 1$ | 0 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | $K_{пл} = 1$ |
| $M = 10$ | 1 | | | | 0 | 0 | 0 | 1 | $K_{пл} = 1,1$ |
| $K_{гр} = 1$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | $K_{гр} = 1,2$ |
| $K_{гр} = 2$ | 0 | 1 | | | | | | | |
| $K_{гр} = 5$ | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | $K_{гр} = 2,5$ |

Для програмного керування АКНД використовується чотири порти (регістри) запису/зчитування наступного формату з адресами відносно базової адреси (БА):

| Адреса | Зчитування | Запис |
|--------|---------------------|-------------------------------------------------------------------|
| БА | Не використовується | Код дискримінатора нижнього рівня (ДНР) за номером входу в РКС |
| БА + 1 | Не використовується | СТОП |
| БА + 2 | Не використовується | СТАРТ |
| БА + 3 | Код стану | Код команди |

При цьому використовується такий формат регістра команд і стану (РКС):

| Розряди | | | | | | | | Зміст |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|------------------------------------------------------------------------------|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| 0 | 0 | 0 | | | | | | Код входу для запису порога ДНР. 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 "СТОП" |
| | | | | | | | 1 | Є дані в АЦП |
| | | | | | | | 0 | Немає даних в АЦП |

В адресному просторі системного комп'ютера САЦП займає вісім портів запису/зчитування (регістрів). Нижче наведено опис цих регістрів у режимах запису та зчитування. Адреси регістрів САЦП показано відносно БА.

| Адреса | Зчитування | Запис |
|--------|--------------------------------|-------------------------|
| БА | Молодший байт даних | Код дискримінатора нуля |
| БА + 1 | Старший байт даних | Код ДНР |
| БА + 2 | Молодший байт лічильника втрат | Не використовується |
| БА + 3 | Середній байт лічильника втрат | СКИДУВАННЯ |
| БА + 4 | Старший байт лічильника втрат | |
| БА + 5 | Не використовується | СТАРТ |
| БА + 6 | Не використовується | СТОП |
| БА + 7 | Код стану РКС | Код команди РКС |

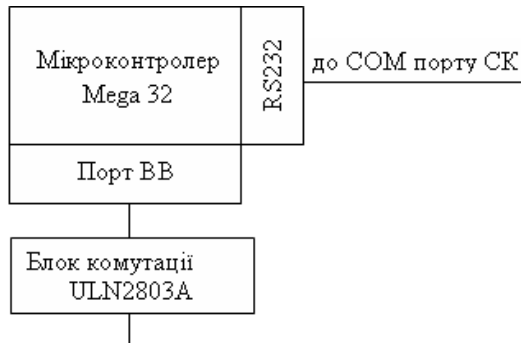
РКС САЦП має такий формат:

| 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 |
| | | | 1 | | | | | Режим стробу |
| | | | | 0 | | | | Без спектра втрат |
| | | | | 1 | | | | Із спектром втрат |
| | | | | | 0 | | | Робота без АКНД |
| | | | | | 1 | | | Робота з АКНД |
| | | | | | | 0 | | Режим "Робота" |
| | | | | | | 1 | | Режим "Зупинка" |
| | | | | | | | 0 | Немає даних (IRQ = 0) |
| | | | | | | | 1 | Є дані (IRQ = 1) |

Модуль комутації БУК-1М (рис. 2) призначений для програмного керування електромеханічним блоком установки УКР-3. Електромеханічний блок забезпечує вибір необхідного положен-

ня механізму зміни зразка-розсіювача нейтронів, а також зразка для вимірювання пропускання розсіяних під певними кутами нейтронів. Принцип керування модуля базується на формуванні й

передачі на пульт керування УКР-3 послідовності однобайтних кодів, кожному з яких поставлено у відповідність просторове положення механізмів установки, на яких закріплені детектори та зразки. Основою модуля комутації є мікроконтролер MEGA 32, в якому за допомогою спеціальної системи команд програмується послідовність зміни положення електромеханічних частин УКР-3 відповідно до методики експерименту. Комутація здійснюється через мікросхему транзисторних ключів ULN2803A.



До інтерфейсу дистанційного пульта керування УКР-3

Рис. 2. Структура модуля комутації БУК-1М.

Команди керування, які модуль комутації надсилає до УКР-3, мають формат $ST(X) = Y$, де X – код, який визначає варіант положення механізмів установки й може приймати значення від 1 до 4, а Y – однобайтний бінарний код, який визначає режим роботи установки. Значення двох молодших розрядів цього коду залежить від X , як це показано в таблиці, де $Y_i = j$ – двійкові значення розрядів коду режиму роботи установки, що залишаються на вході її пульта керування незмінними до появи наступної команди, $i = \{1, 2, \dots, 8\}, j = \{0, 1\}$.

Типи команд керування

| X | Y ₁ , Y ₂ | Розряди коду Y | | | | | | | |
|---|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | x, x | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ | Y ₄ | Y ₅ | Y ₆ | Y ₇ | Y ₈ |
| | 0, x | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ | Y ₄ | Y ₅ | Y ₆ | Y ₇ | Y ₈ |
| 2 | 1, x | I | Y ₂ | Y ₃ | Y ₄ | Y ₅ | Y ₆ | Y ₇ | Y ₈ |
| | x, 0 | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ | Y ₄ | Y ₅ | Y ₆ | Y ₇ | Y ₈ |
| 3 | x, 1 | Y ₁ | I | Y ₃ | Y ₄ | Y ₅ | Y ₆ | Y ₇ | Y ₈ |
| | 1, 0 | I | Y ₂ | Y ₃ | Y ₄ | Y ₅ | Y ₆ | Y ₇ | Y ₈ |
| 4 | 0, 1 | I | I | Y ₃ | Y ₄ | Y ₅ | Y ₆ | Y ₇ | Y ₈ |

У таблиці символ I означає появу імпульсного сигналу у відповідному розряді коду в момент появи поточної команди. Після закінчення імпульсу даний розряд приймає значення логічного нуля. Символ x означає те, що два молодші зна-

чення коду Y контролером не беруться до уваги й усі вісім розрядів коду Y транслюються до УКР-3 без імпульсних сигналів.

Програмне забезпечення

Програмне забезпечення (ПЗ) аналізатора ADSA призначено для керування роботою аналізатора та отримання результатів вимірювань. При цьому відповідно до алгоритму роботи УКР-3 за одну експозицію накопичується три спектра (по прямому та двох кутових вимірювальних трактах). У свою чергу число експозицій в одному циклі визначається кількістю комбінацій зразків, що дорівнює 16. Таким чином, за повний цикл вимірювань накопичується 48 спектрів.

ПЗ організовано за модульним принципом, і складається з модулів:

- налаштування апаратно-залежної частини вимірювальних трактів - ADS_config;
- конфігурування – ADS_setup;

- ADS_main, який включає в себе процедури проведення вимірювань у реальному масштабі часу ADS_regist, архівації ADS_wdat, та візуалізацією даних ADS_visual;

- керуванням ходом вимірювань – ADS_control;
- перегляду та аналізу даних по завершенні вимірювань – ADS_analyzer;

- перетворення внутрішнього формату даних експерименту в інші формати представлення даних (BIN, TXT, XML) – ADS_convert.

Схему об'єднання модулів ПЗ наведено на рис. 3.

Модуль ADS_config перевіряє відповідність адреси вимірювальних модулів, що задані в файлах конфігурації системи, з реальними на шині ISA IBM PC. В інтерактивному режимі встановлює рівні дискримінаторів та коефіцієнти підсилення сигналів по кожному вимірювальному тракту. Отримані параметри заносяться до файлів конфігурації та бази даних вимірювань.

Модуль ADS_config, на початковому етапі, відображає у вигляді гістограм амплітудні спектри (рис. 4). Зміна зображення та стану вимірювань здійснюється кожні дві секунди. Передбачено процедуру для більш детального перегляду даних по виділеному тракту, що дає змогу розглянути по кожному каналу спектр у різних масштабах, тим самим уточнювати змінювані параметри тракту.

Усі параметри, динаміка їхніх змін та проміжні спектри автоматично зберігаються в тимчасових файлах, які можуть бути використані для аналізу та повторного налагодження апаратури.

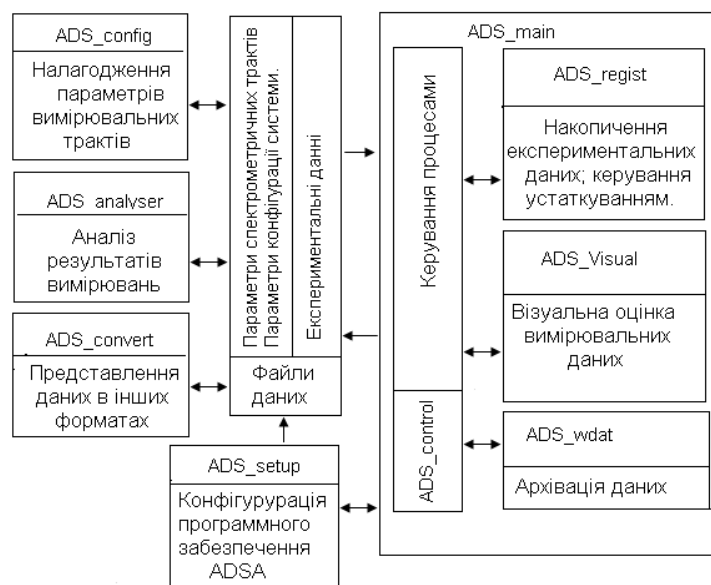


Рис. 3. Структура ПЗ.

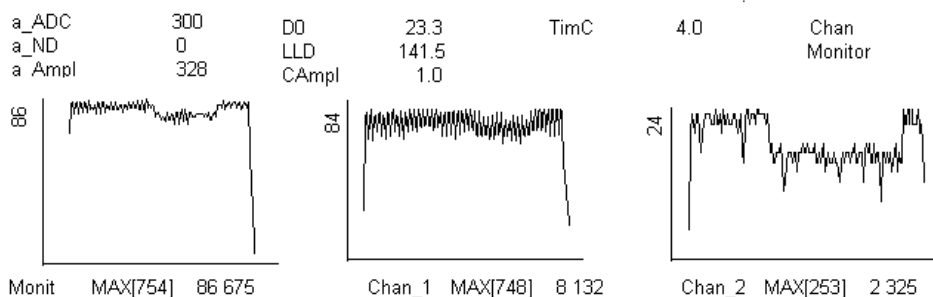


Рис. 4. Амплітудні розподілення по трактах.

Модуль ADS_control реалізує механізм запуску, керування та обслуговування процедур за алгоритмом проведення вимірювань. Усі процеси (запуск вимірювань, зміна експозицій, запуск і зупинка крокових двигунів для переміщення зразків і ряд інших) плануються за часом. В аналізаторі реалізовано механізм послідовного та асинхронного запуску модулів (процесів). Кожен процес має таблицю стану, у якій міститься така інформація: характеристика стану (активний/пасивний); пріоритет процесу; поточний час виконання (у мілісекундах); граничний час виконання (у мілісекундах); адреса модуля завершення (який модуль запустити по завершенню роботи даного); адреса програми обробки переривань (індивідуальний для кожного процесу); режим відображення інформації в модулі (текстовий/графічний); служба.

Механізм послідовного та асинхронного запуску дає змогу реалізувати ланцюжок виконуваних модулів, що запускаються за часом, відповідно до алгоритму. Крім того, ПЗ забезпечує асинхронну обробку переривань від клавіатури (впливу оператора) та системного таймера для зміни ходу вимірювань.

Модуль ADS_regist безпосередньо здійснює проведення вимірювань у реальному часі (зчитує дані з регістрів апаратури аналізатора). При ініціалізації цього модуля виділяється пам'ять під масиви даних по кожному тракту, відповідно до файлу конфігурації вимірів, а також формується сценарій покрокового та почасового виконання алгоритму одного циклу накопичення. Модуль ADS_regist виконується асинхронно до інших процедур модуля ADS_main. Функціонує від запуску вимірювань до завершення усіх циклів вимірювань. Кожен цикл починається з відновлення початкових параметрів: час набору, час завершення набору, гранична інтенсивність по тракту, час на зміну експозиції. Далі ADS_regist переходить у стан очікування й обробки апаратних переривань від устаткування та внутрішнього таймера комп'ютера. Сигнал переривання від устаткування свідчить про наявність даних у вихідних регістрах блоків накопичення. Дані зчитуються та перевіряються на допустимість. З цих даних формується подія і їхня кількість збільшується на 1. Якщо кількість подій перевищує допустимий поріг – подальша обробка вхідних даних призупиняється до зменшення інтенсивності

вхідного потоку даних. Переривання від таймера керують зміною режимів між накопиченням даних і процедурою переміщення зразків на пучку та контролюють тривалість процесів згідно з параметрами сценарію виконання алгоритму.

Модуль ADS_visual реалізує два види візуального контролю – поточний та індивідуальний за обраним спектром. При поточному на екран монітора відображаються будь-які чотири (із 48)

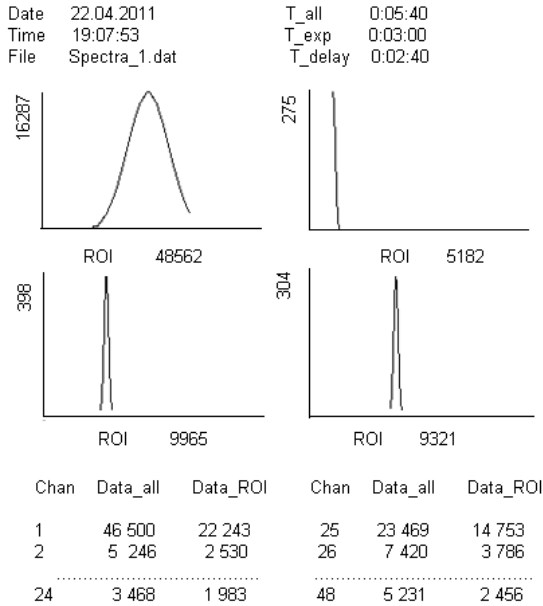


Рис. 5. Поточний візуальний контроль.

Процедури VISUAL передбачають такі діалогові можливості:

керування масштабуванням – реалізоване автоматичне й ручне масштабування зображення;

керування переміщеннями – можна переміщати маркер по гістограмі або гістограму на екрані, задавати масштаб переміщення;

режими візуалізації – у вигляді окремих точок та з’єднані точки, використовуючи при цьому кусочно-постійну і кусочно-лінійну апроксимації;

режим обробки дає можливість не змінюючи вікна візуалізації одержувати інформацію і робити визначені дії з виділеною на гістограмі ділянкою (вікном обробки). У режимі обробки обчислення суми та піка, позиціонування по піку виконується в інтервалі обробки;

візуалізація значення енергії – виконується при наявності параметрів калібрування (модуль SETUP). Замість значення номера каналу, у якому знаходиться маркер, виводиться відповідне йому значення енергії;

відновлення інформації на екрані застосовується під час відображення гістограм, в які асинхронно ведеться нагромадження.

спектри, що накопичуються (рис. 5). Крім того, для кожного спектра ведеться підрахунок загальної кількості подій та кількість подій у заданій області. Зображення спектрів обновлюється через визначений проміжок часу (задається в початкових установках), або за запитом оператора.

Спектр, що становить інтерес, можна розглянути детально, як показано на рис. 6.

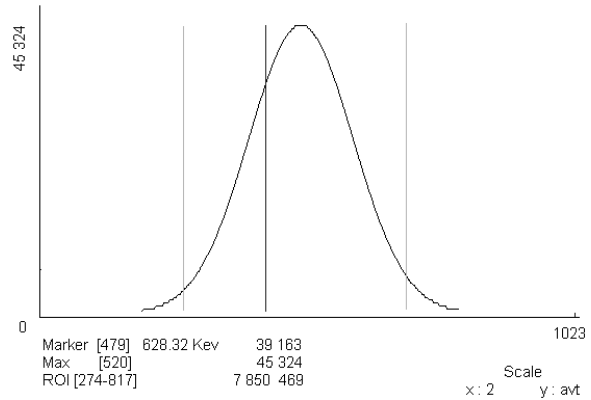


Рис. 6. Детальний візуальний контроль.

Конструкція

Аналізатор реалізовано на основі розширювача шини ISA BP-14S-RS-R30 та корпусу системного блока персонального комп’ютера з використанням штатного блока живлення. З конструктивних міркувань та з урахуванням особливостей керування електромеханізмом УКР-3 модуль комутації БУК-1М виконано в модулі САМАС одиначної ширини. Загальний вигляд аналізатора показано на рис. 7.

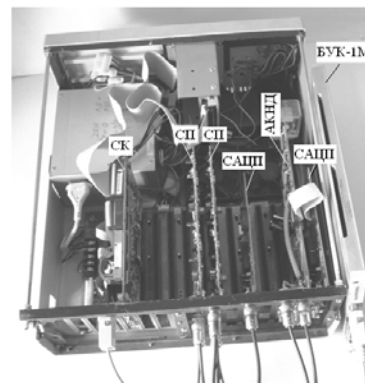


Рис. 7. Конструкція аналізатора.

Висновки

Аналізатор побудовано на сучасній елементній базі та принципах програмного керування, що забезпечить необхідну точність вимірювань та скорочення часу проведення експерименту. Гнучка архітектура програмного забезпечення аналізатора дасть змогу зручного та швидкого налагодження методики, ефективного здійснення

процесу накопичення даних та контролю за ходом експерименту. Аналізатор буде використано для розширення напрямків експериментальних робіт із фільтрованими пучками нейтронів на дослідницькому реакторі ВВР-М, зокрема для отримання диференціальних перерізів розсіяння нейтронів на ядрах, повних нейтронних перерізів ядер та для дослідження ефектів самоекранування нейтронних перерізів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Gritzay O.O., Venediktov V.M. Automatized Installation for Scanning Space Distributions of Neutron Beam Intensity // Proc. of Int. Conf. "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy", Kyiv, 9 - 15 June 2008. - Kyiv, 2009. - P. 537 - 541.
2. <http://www.datasheetarchive.com/AD7679-datasheet.html>.
3. <http://www.rts.ua/rus/catshop/552/20/11415>.
4. Березин Ф.Н., Войтер А.П., Грашилин В.А. и др. Система регистрации многопараметрических потоков // Ядерная физика та энергетика. - 2007. - № 3 (21). - С. 92 - 98.
5. Войтер А. П., Слісенко В. І., Доронін М. І. та ін. Багатоканальний аналізатор для нейтронного спектрометра за часом прольоту // Там же. - 2010. - Т. 11, № 1. - С. 90 - 96.

А. П. Войтер, Е. А. Грицай, М. И. Доронин, А. Н. Ковалев, В. А. Либман, И. А. Мазный

АНАЛИЗАТОР ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ФИЛЬТРОВАННЫХ ПУЧКАХ НЕЙТРОНОВ

Рассмотрены архитектура, принципы построения, реализация и программное обеспечение анализатора для выполнения комплекса новых экспериментов на фильтрованных пучках нейтронов на реакторе ВВР-М с использованием модернизированной установки исследования углового рассеивания нейтронов.

Ключевые слова: анализатор, нейтроны, эксперимент, блоки, программное обеспечение.

A. P. Voiter, O. O Gritzay, M. I. Doronin, A. N. Kovalev, V. A. Libman, I. A. Maznyj

ANALYZER FOR EXPERIMENTS ON FILTERED BUNCHES OF NEUTRONS

We consider the architecture, development principles, realization and software of analyzer to perform the new experiments with the filtered neutron bunches using upgraded installation for study of the neutron angular distributions at VVER-M.

Keywords: analyzer, neutrons, experiment, blocks, software.

Надійшла до редакції 21.04.11,
після доопрацювання - 19.07.11.