

REDSTORM2 — ПАКЕТ ПРОГРАММ C++ ДЛЯ НОВОГО ГАЗОНАПОЛНЕННОГО СЕПАРАТОРА ЯДЕР ОТДАЧИ ЛЯР ОИЯИ

*Ю. С. Цыганов*¹

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Представлен пакет программ C++ для нового газонаполненного сепаратора ядер отдачи ЛЯР ОИЯИ. Данная версия программного обеспечения является глубокой модернизацией пакета REDSTORM (REal-time Detection and STORage of Multichain events) и предназначена для работы с фокальным DSSSD-детектором сепаратора и газовым времяпролетным модулем низкого давления в экспериментах по поиску редких α -распадов сверхтяжелых ядер. Программа набора спектрометрических данных работает с применением метода активных корреляций. Отдельно рассмотрены программы, моделирующие ход эксперимента, и ряд тестов с применением как генератора точной амплитуды, так и внешних источников α -частиц.

C++ program package for new FLNR (JINR) Gas-Filled Recoil Separator is presented. This version of the software is in fact a deep upgrade of former REDSTORM program. It will be applied together with DSSSD focal plane detector and time-of-flight gaseous detector of the separator in the experiments aimed at the search of rare α -decays of superheavy nuclei. Program for storage of spectrometry data operates with applying of active correlation technique. Programs modeling the experiments to search for correlation chains in a real-time mode as well as simple tests of electronics apparatuses are under consideration too. For those purposes a specific pulse generator and external α -decay sources are used.

PACS 07.05.Hd; 07.05.Tr; 23.60.+e; 27.90.+b; 25.70.Jj; 29.20.dg

ВВЕДЕНИЕ

Начало текущего века, вне всякого сомнения, ознаменовалось выдающимся открытием в области ядерной физики — открытием «острова стабильности» сверхтяжелых ядер [1–5]. Синтез новых элементов $Z = 113–118$ был осуществлен на установке «Дубненский газонаполненный сепаратор ядер отдачи» (ГНС) [6, 7]. В экспериментах на интенсивном (вплоть до $1,5 \text{ p} \cdot \text{мкА}$) пучке ионов ^{48}Ca был применен ряд уникальных технологий [8–16], что и определило успех трудоемких долговременных экспериментов по синтезу сверхтяжелых ядер на ускорителе У-400 ЛЯР (ОИЯИ). С точки зрения подавления фонов, связанных так или иначе с работой циклотрона, решающая роль в экспериментах принадлежала методу активных корреляций [8–16], который позволял производить регистрацию ультраредких событий α -распада исследуемых ядер в практически бесфоновых условиях. Отметим, что с вводом в строй в 2019 г. нового сверхинтенсивного циклотрона DC-280 ЛЯР ОИЯИ («Фабрика сверхтяжелых элементов») [17, 18] значение данного метода возрастает многократно. Совершенствованию метода и его алгоритмов, программного обеспечения, а также ряду других аспектов и посвящена эта работа.

¹E-mail: tyra@jinr.ru

1. МЕТОД АКТИВНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ И ПРИМЕРЫ РЕЗУЛЬТАТОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА УСТАНОВКЕ «ДУБНЕНСКИЙ ГАЗОНАПОЛНЕННЫЙ СЕПАРАТОР ЯДЕР ОТДАЧИ»

Метод активных корреляций основан на том, что природа сама дает исследователям некий «ключ» к бесфоновой регистрации α -распадов сверхтяжелых ядер благодаря их многозвенности. В этом случае регистрация в реальном масштабе времени указателя на потенциальную корреляцию может служить триггером для отключения пучка циклотрона У-400 и создавать, таким образом, короткий интервал времени для бесфоновой регистрации последующих распадов. В прошлых экспериментах на ГНС таким указателем являлась корреляция по энергии-времени-координате звена типа ER- α , где первый сигнал соответствовал регистрации имплантированного в кремниевый детектор ядра отдачи в реакции полного слияния с ионами ^{48}Ca . Особенно актуален данный метод при наличии сравнительно больших времен распада в конце регистрируемой цепочки α -распадов. Диапазон времен может составлять от минут до десятков часов. Типичные для этого случая примеры представлены в работе [19] для элемента $Z = 115$ (Mc).

2. ПРОЕКТ DC-280

В работах [17, 18] описан новый циклотрон ЛЯР ОИЯИ — DC-280, приведены некоторые его параметры для различных тяжелых ионов. Так, при потенциале инжектирующего пучка вплоть до 100 кВ и магнитном поле 0,6–1,3 Тл диапазон ускоряемых частиц составлял $A/Z = 4–7,5$. Ожидаемые интенсивности пучков на мишени могут составлять несколько $p \cdot \text{мкА}$, и это намного больше значений, полученных при опытах на циклотроне У-400. Этот факт и определяет повышенные требования к системам детектирования, электронным блокам, программному обеспечению, методам и алгоритмам реального времени при проведении экспериментов по синтезу элементов $Z = 119, 120$ (например, на пучке ионов ^{50}Ti). Отдельный актуальный вопрос — это вопрос радиационной стабильности фокальных позиционно-чувствительных детекторов спектрометра нового газонаполненного сепаратора.

3. ПРОГРАММА REDSTORM2: СТРУКТУРА, ОСНОВНЫЕ ПУНКТЫ МЕНЮ

В работе [20] описана программа REDSTORM для набора данных — остановов пучка для детектирующей системы газонаполненного сепаратора на основе 32-стрипового детектора с резистивным слоем производства Canberra NV (Бельгия). Данная система детектирования имела: 32 позиционно-чувствительных резистивных стрипа; восемь боковых кремниевых детекторов без позиционной чувствительности для повышения геометрической эффективности регистрации частиц, вылетающих в обратную полусферу по отношению к направлению пучка; вето-детектор, помещенный за фокальным, для подавления фона длиннопробежных частиц; газовый времяпролетный детектор для регистрации заряженных частиц, движущихся по направлению имплантируемых ядер. Именно эта система детектирования была применена при открытии нового элемента — $Z = 117$ (Ts) [21].

Описываемое в данной работе приложение C++ Builder REDSTORM2, по существу, является глубокой модернизацией предыдущей версии, что конкретно выражается:

- в большей степени гибкости алгоритма поиска коррелированных звеньев в реальном масштабе времени;
- в наличии файлов задания, не предполагающих процесса перекомпиляции;
- в наличии разнообразных внутренних тестов аппаратуры;
- в наличии теста Монте-Карло для моделирования процесса облучения с привязкой к сигналам генератора-эквивалента сигналов IMI-2011 TekhInvest [22];
- в ряде других усовершенствований, таких как приложения теоретического характера для моделирования процесса регистрации.

На рис. 1 представлена блок-диаграмма рассматриваемой программы, а на рис. 2 — частичная спецификация для случая моделированных спектров. На рис. 3 показан основ-

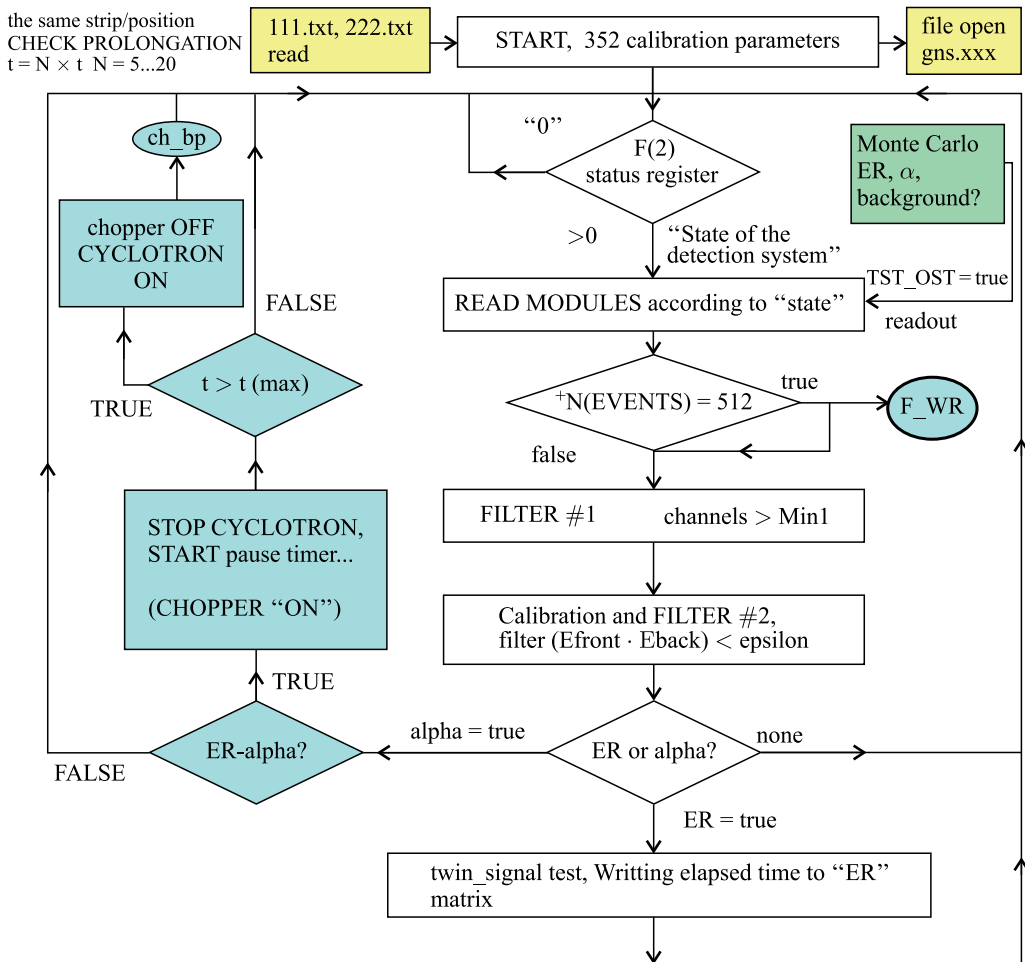


Рис. 1 (цветной в электронной версии). Блок-диаграмма программы REDSTORM2. Зеленым цветом показан блок условной компиляции по ключу TST_OST

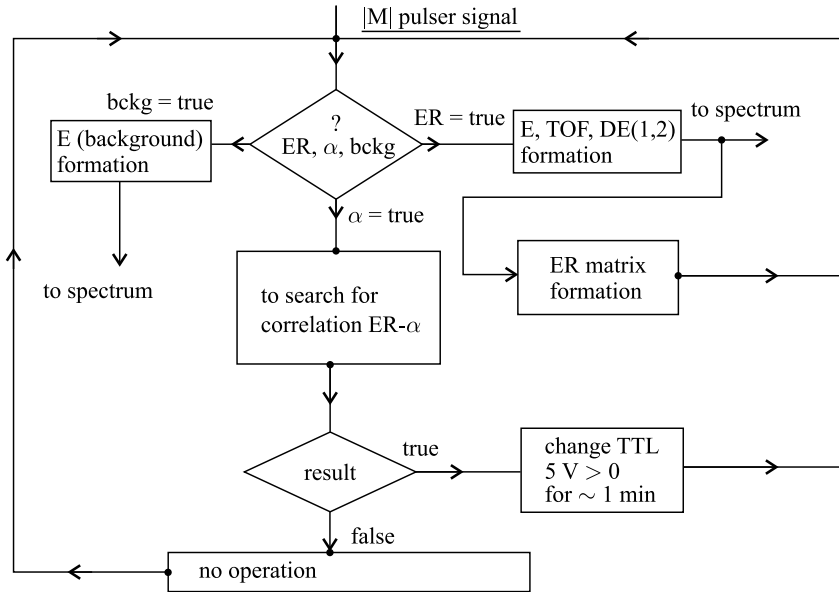


Рис. 2. Блок-схема, спецификация варианта Монте-Карло ER, α , фон (см. рис. 1)

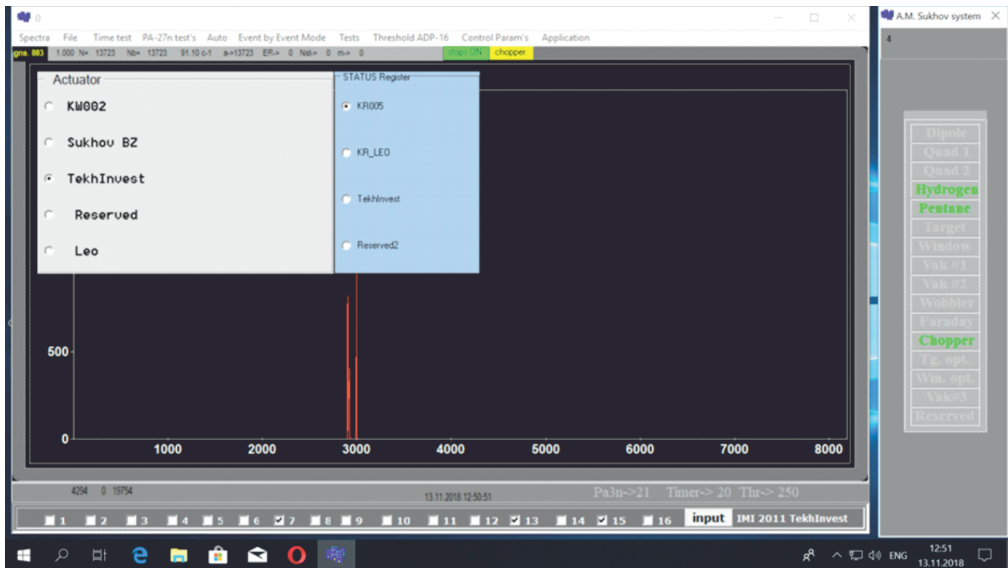


Рис. 3. Основной интерфейс программы REDSTORM2. Тестирование программы с применением генератора IMI-2011 TekhInvest. Правая панель — регистр блока защиты. Актуальный контроль — пентан, водород, прерыватель пучка (chopper)

ной интерфейс пользователя, а на рис. 4 и 5 содержатся пункты меню основных тестов и других вспомогательных действий. Разумеется, рис. 2 соответствует тестовому режиму поиска корреляций типа ER- α . В качестве стартового шага осуществляется процедура

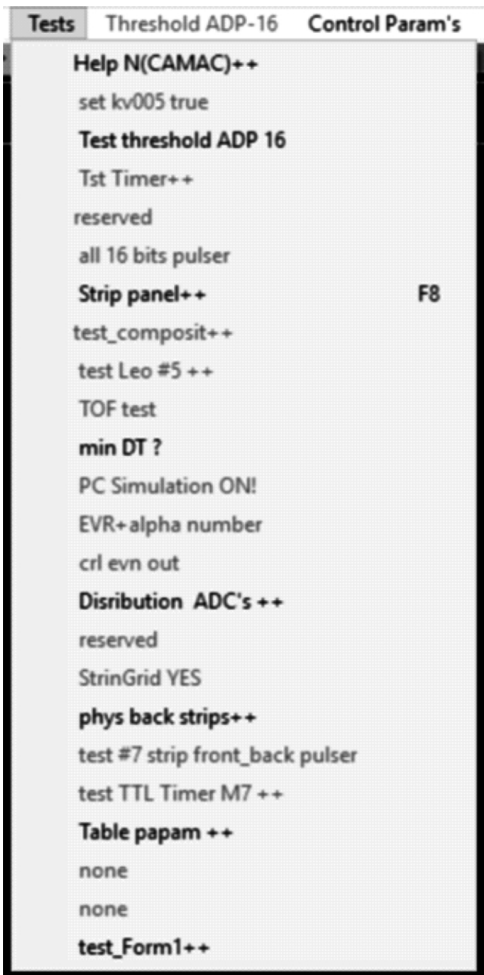


Рис. 4. Меню тестов аппаратуры и программы

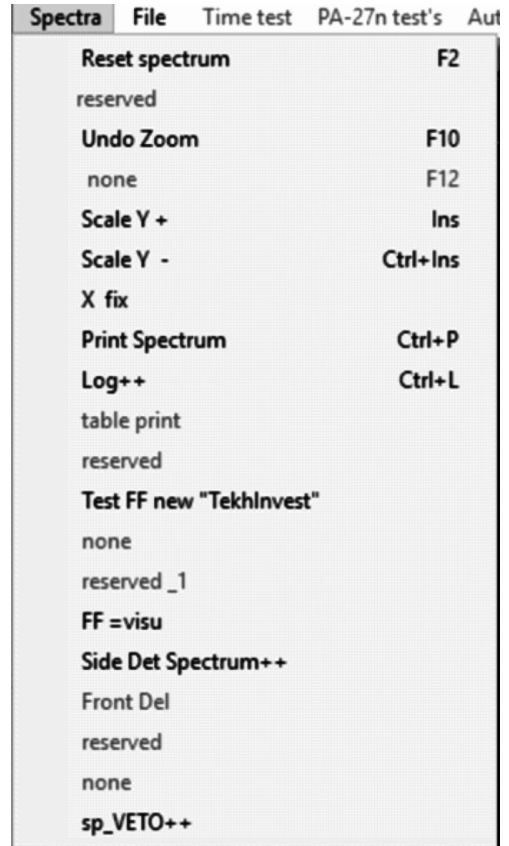


Рис. 5. Пункты меню раздела <Spectra>

чтения установочных файлов config_ADC.txt, 111.txt, 112.txt и 333.txt, которые должны помещаться в той же (текущей) директории.

Для данного пункта главного меню:

- <Strip panel> открывает панель запуска генератора IMI-2011 (пользователь выбирает номера каналов актуального стрипа, подключенного к генератору многоштырьковым разъемом, или нескольких стрипов (1–16));
- <Help N (CAMAC)> показывает спецификацию мест конкретных модулей в крейте;
- <Table param> показывает параметры корреляций (первично содержащихся в 222.txt);
- <min dt> открывает гистограмму разности времен между любыми двумя последовательными событиями в интервале 5–100 мкс;
- <test_VOLT> — тестовое периодическое (1–3 с) переключение уровня TTL блока 16-in Discriminator «ТехИнвест» (факт переключения 3,3 → 0 В наблюдается на осциллографе);

- $\langle \text{test_eff} \rangle$ — тест определения величины эффективности подавления пучка тяжелых ионов по наблюдаемому пику времяпролетным детектором.

Такие основные пункты меню, как $\langle \text{Reset Spectrum} \rangle$, $\langle \text{Print Spectrum} \rangle$, $\langle \text{FF=visu} \rangle$, $\langle \text{sp_VETO} \rangle$, $\langle \text{Log++} \rangle$, соответственно обозначают:

- сброс накопленного суммарного спектра (при этом некоторые пункты меню неактивны для пользователя и предназначены для разработчиков программного обеспечения или электронных модулей в процессе создания, тестирования и настройки);

- печать спектра на установленном принтере (формата Landscape);

- открытие окна спектра второй шкалы ($\sim 20\text{--}300$ МэВ);

- визуализацию спектра сигналов вето-детектора;

- включение/выключение логарифмической шкалы оси ординат (отсчеты).

Пункт $\langle \text{Puasson} \rangle$ в главном меню $\langle \text{Calculation} \rangle$ вызывает процедуру вычисления вероятности того, что на временном интервале $8 \cdot t_{\text{dead}} \approx 200$ мкс произойдет переполнение внутреннего буфера размером восемь слов 16 bit блока ADP-16 с учетом конкретных загрузок фокального детектора. В данном случае восемь — это максимальный размер буфера. При этом величина реальной загрузки вводится в интерактивном режиме. Параметр t_{dead} — мертвое время считывания одного события. Значение параметра загрузки фокального детектора по умолчанию равно 10^3 Гц.

Программа компилируется в зависимости от ключей компиляции в трех вариантах, таких как:

- 1) рабочая программа для экспериментов на ГНС (GNS_2019.exe);

- 2) программа для тестирования спектрометрических трактов с применением генератора IMI-2011 TekhInvest (pulser.exe);

- 3) тест Монте-Карло остановов пучка с привязкой к импульсам генератора IMI-2011 (Carlo.exe).

3.1. Загрузочные файлы, некоторые пункты меню приложения, формат события.

Загрузочные файлы 111.txt, 112.txt и 333.txt определяют задание программе режима работы и содержат основные загрузочные параметры. Так, файл 111.txt содержит калибровочные коэффициенты всех $48 + 48 = 96$ стрипов (фронтальных + боковых) в предположении линейности шкал. То есть на каждый стрип приходится по два параметра — нулевая ордината и наклон $E_i = a_i N_i + b_i$, $i = 1, \dots, 96$. Здесь E_i — актуальное значение энергии регистрируемого сигнала, N_i — номер канала. Порядок следования коэффициентов калибровки в файле таков:

- первые 48 чисел — коэффициенты наклона передних стрипов;

- следующие 48 чисел — нулевые ординаты передних стрипов;

- следующие 48 чисел — коэффициенты наклона боковых стрипов;

- следующие 48 чисел — нулевые ординаты боковых стрипов.

Файл 112.txt содержит параметры, актуальные для режима поиска коррелированных звеньев типа ER- α в реальном масштабе времени, такие как:

ER_{min} — минимальная измеряемая энергия рекойла (6000 кэВ);

ER_{max} — максимальная измеряемая энергия рекойла (17 000 кэВ);

$E_{\alpha.\text{min}}$ — минимальная энергия α -частицы (8500 кэВ);

$E_{\alpha.\text{max}}$ — максимальная энергия α -частицы (12 000 кэВ);

MAX_{α} и MIN_{α} — вспомогательные параметры (20 000–7000 кэВ);

$(TOF_{\text{min}}, TOF_{\text{max}})$ — интервал (каналы) для времени пролета (1000–3000; 12 bit АЦП);

$DE_{1,2_MIN}$ — минимально значимые каналы для зачета сигнала $\Delta E_{1,2}$ с камер «Старт» и «Стоп» (примерно 100);

EPS — допустимый интервал корреляционного времени ER- α (1 000 000 мкс);

kkk — фактор продления интервала паузы ($\sim 3-20$);

($E_{\alpha nextmin}$, $E_{\alpha nextmax}$) — энергетический интервал для продления паузы (8000, 9500 кэВ);

Pause — пауза облучения мишени (60 с).

Следующий параметр в тексте, принимающий значения 1/0, означает разрешение/запрет на поиск корреляций и остановки облучения, затем следует число в микросекундах, означающее, что разница меньше этого времени может указывать на то, что событие является составным. Следующий параметр 1/0 означает то, что после каждой регистрации рекойла происходит понижение порога регистрации соответствующего блока ADP-16 на время (в микросекундах), на которое указывает последний параметр файла.

При работе программы формируются следующие спектры (гистограммы):

— суммарный спектр (48 стрипов) шкалы α -частиц (~ 300 кэВ – 13 МэВ);

— спектр вето-детектора;

— суммарный спектр с 48 боковыми детекторами;

— гистограммы распределения количества событий по передним и задним стрипам;

— спектры времени пролета и удельных потерь в счетчиках «Старт» и «Стоп» (TOF, ΔE_1 и ΔE_2);

— суммарный спектр шкалы 25–300 МэВ (FF-шкала);

— спектр разности текущих файловых времен 5–100 мкс;

— спектр событий «вне пучка»;

— ряд других.

Файл 333.txt имеет вспомогательное значение и становится актуальным в случае, когда один из блоков защиты системы контроля и защиты сепаратора находится в этом же крейте (блок 1M). В этом случае в данный файл записывается состояние системы контроля с точки зрения разрешения постановки на контроль того или иного технологического параметра (всего 16 параметров). Тогда при перезапуске программы возвращается предыдущее состояние блока защиты. Файл rate.txt содержит предельную величину загрузки и кратность повторения данного события в течение 1–3 с. В случае превышения данной величины происходит отключение пучка при наличии разрешения на данную операцию в пункте меню (ALARM).

Что же касается формата события, то он представлен так:

```
class ara
{
public:
Word ID; // код события 1..6
Word aa; // амплитуда передних стрипов,  $\alpha$ -шкала 0..8192
Word ff; // шкала осколков деления 16·4096
Word tsi; // микросекундный счетчик вращения мишени 0..65535
Word tfl; // время пролета 0..4095 (каналы)
Word D11; //  $\Delta E_1$ , 0..4095 (каналы)
Word D12; //  $\Delta E_2$ , 0..4095 (каналы)
Word as; // VETO-детектор, 0..4095 (каналы)
```

```

Word fs; // статус регистр 0..65535
Byte cod; // номер заднего стрипа
Byte cob; // номер второго стрипа, если есть
unsigned wsec; // текущее время, секунды Windows
unsigned exs; // текущее время, микросекунды Windows
Word ab; // амплитуда  $\alpha$ -шкалы, задний стрип
Word bb; // вторая амплитуда (если есть)
};
static ara zeroev={0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};
ara event[EVENT_IN_BUFFER];

```

Обычно параметр EVENT_IN_BUFFER=515, а zeroev — нулевое событие.

3.2. Основные блоки при работе программы. При работе приложения взаимодействие (чтение/запись) происходит с 14 блоками — аналоговыми процессорами КАМАК ADP-16 «ТехИнвест», блоком-исполнителем передачи TTL сигнала через блок оптической развязки и блоком защиты системы контроля параметров на остановку пучка 16-in дискриминатор (2M), блоком Ра3n (сигналы TOF, ΔE_1 и ΔE_2), а также блоком «статусный регистр» (1M). Триггирование процесса чтения события осуществляется при помощи блока 1M 6-ИЛИ, фактически объединяющего по ИЛИ шесть сигналов блоков ADP-16 (48 фронтальных стрипов DSSSD-детектора и 48 боковых детекторов).

Основу системы представляет блок ADP-16. Он позволяет:

- принимать 16 входных сигналов с зарядочувствительного преусилителя;
- образовывать цифровые коды для двух шкал (α -частиц и осколков деления);
- считывать «штамп времени» (time stamp) для каждого входного сигнала с точностью 1 мкс;
- менять пороги регистрации, используя команды КАМАК.

Для записи трех сигналов TOF, $\Delta E_{1,2}$ используется блок 1M Ра3n «ТехИнвест».

Кроме трех указанных файлов в директории должен находиться файл ADC_config.txt, в котором указаны номера станций блоков Ра3n, 16-in дискриминатор, а последнее значение (обычно 100–250) указывает на величину порога по умолчанию для блоков ADP-16. Отображение этой информации содержит нижняя панель приложения при его запуске. Так, на рис. 3 величина порога регистрации указана как Thr \rightarrow 250.

3.3. Тест режима прерывания пучка. Работа программы осуществляется при наличии генератора IMI-2011 TekhInvest в крейте. При этом любой регистрируемый сигнал преобразуется в сигнал либо типа α , либо типа ER, либо «фон» с соответствующими вероятностями. На рис. 6 показан типичный суммарный спектр генерируемых с привязкой к генератору IMI-2011 событий «имплантации», « α -распада», а также «фоновых» событий (равномерно). В качестве примера ниже приведен фрагмент, соответствующий ситуации «рекойл» (ER=true). Отметим, что в этом примере параметр carlo1 = 4, а ключ TST_OST в header-файле означает начало/конец блока условной компиляции. Переменные tof, DE1 и DE2 — генерируемые амплитуды «сигналов» времени пролета и ΔE для камер «Старт» и «Стоп»:

```

#if (TST_OST)
tof=0; DE1=0; DE2=0; cnt_rrr++; chn=0;
int rrr=random(100);
if (rrr>set_carlo1)

```




Рис. 6. Спектры, генерируемые программой с привязкой к сигналам генератора. Показаны (слева направо) сгенерированные спектры $\Delta E_{1,2}$, TOF, ER. Узкие пики соответствуют сигналам α -распада. Также показаны фоновые отсчеты (равномерное распределение)

```
{
chn=(TOF_MIN+TOF_MAX)/2+160+random(330)-
  random(310)+random(150)-random(130)+random(120)-
  random(138)+random(70)-random(65)+random(18)-
  random(22)+random(8);
tof=chn;
DE1=1000-random(270)+random(250)-
  random(180)+random(160)+random(30);
DE2=1300-random(240)+random(220)-random(120)+
  random(80)+random(24);
ww=ww+600+random(250)-random(240)+random(140)-random(120)+
  random(40)-random(30);
}
// , rrr<=set_carlo1
#endif
```

Ниже представлен фрагмент файла — результата генераторного теста (файл B_STOP.txt актуальной директории):

```
4353 7 29 39 20 11614.1 9471.3 34354 649469543 11383 32769 827
4353 7 29 39 20 11361.1 9474.6 34456 750987097 10955 32768 827
4353 7 29 39 20 11223.0 9507.5 35206 1501325783 7685 32769 827
4353 7 29 39 20 11423.5 9481.2 35587 1882098620 5928 32766 827
...
```

В данной записи результата:

- 1-я колонка содержит статусный регистр;
- 2-я — номер переднего стрипа (электронное значение);

- 3-я — номер переднего стрипа (физическое значение);
- 4-я — номер заднего стрипа (электронное значение);
- 5-я — номер заднего стрипа (физическое значение);
- 6-я — значение энергии рекойла;
- 7-я — значение энергии α -частицы;
- 8-я — время Windows (с);
- 9-я — файловое текущее время (мс);
- 10-я — время в мкс по отношению к старту от прохождения спиц вращающейся мишени;
- 11-я — корреляционное время ER- α ;
- 12-я — номер файла.

Что касается содержания статусного регистра, то фактически это позиционный код сработавших модулей (14 bit) и дополнительная (специальная) информация (15-й, 16-й bit), а именно наличие единицы означает срабатывание трех модулей, регистрирующих сигналы 48 передних стрипов, трех модулей, регистрирующих сигналы 48 стрипов боковых детекторов, и шести модулей, регистрирующих сигналы 128 задних стрипов соответственно. Bit 16 = 1 означает, что система остановила облучение, а bit 15 = 1 означает, что сработал дополнительный аналоговый блок, объединяющий по ИЛИ сигналы срабатывания камер «Старт» и «Стоп» времяпролетной системы. При этом подразумевается, что названные в данном порядке блоки ADP-16 занимают места в крейте с первого по четырнадцатое.

Переключение уровня TTL блока-исполнителя контролируется, в том числе и визуально, по осциллографу. Разумеется, ведется запись в файл-протокол «остановов пучка» B.STOP.txt, где наряду с энергетическими характеристиками пары сигналов, ответственных за прерывание процесса «облучения мишени», записываются координата, текущее время события и временной интервал между сигналом рекойла и α -распада.

4. ДРУГИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Рассматриваемые ниже программы не являются спектрометрическими в прямом смысле этого слова, но они либо предназначены для контроля технологических параметров, либо моделируют применение тех или иных алгоритмов для минимизации фона и детектирования редких событий распада, либо рассчитывают те или иные специфические величины при регистрации сильноионизирующих частиц кремниевыми детекторами.

4.1. Программа (SU-2019) для автономной системы контроля газонаполненного сепаратора. На рис. 7 показан основной интерфейс программы. На нижних панелях рисунка показаны два ряда кнопок — по 16 в каждом. При нажатии каждой кнопки происходит постановка того или иного параметра на контроль. При следующем нажатии происходит обратная операция: снятие с контроля. В случае актуальности контроля текст заглавия кнопки становится светло-зеленым, в то время как исходный цвет — желтый. Это касается нижнего (основного) регистра кнопок, которые соответствуют первому блоку защиты КАМАК 1М (см., например, [23], различие — в количестве каналов: 16 вместо 8). Второй регистр кнопок постановки/снятия с контроля (второй блок защиты на 16 входов) использует мнемонику да/нет (Y/N).

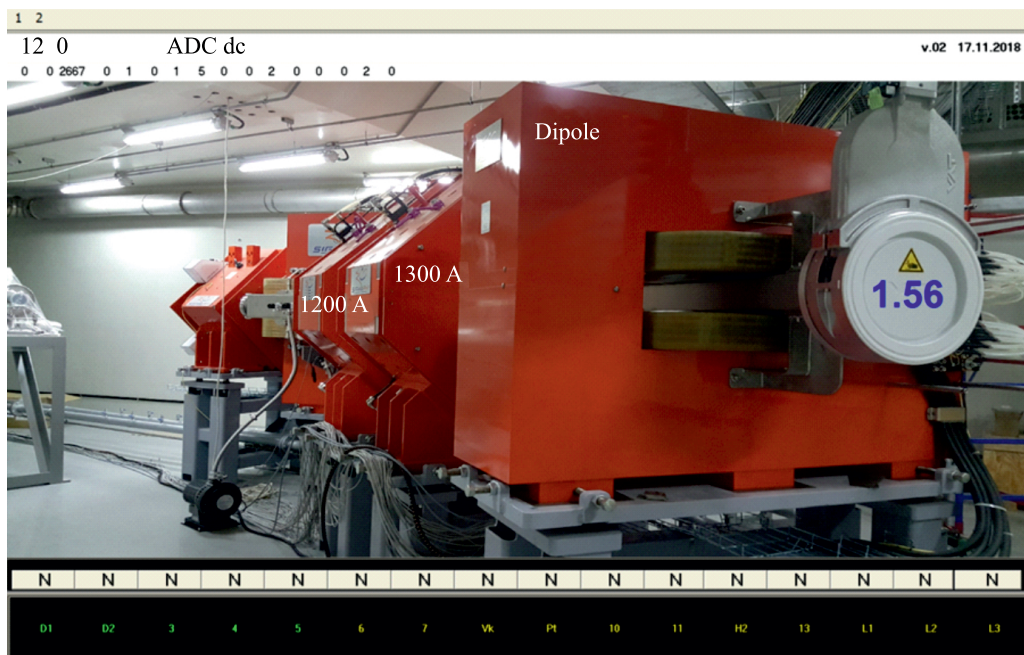


Рис. 7. Основной интерфейс пользователя программы SU-2019: 1 и 2 на верхней панели — главное меню приложения

В данном тестовом примере система выдает код ошибки 12 в верхнем левом углу, что соответствует третьей и четвертой кнопкам (причинам). Надпись ADC dc во второй строке верхней панели говорит о том, что включен 16-входовый (0–5 В) АЦП постоянного тока фирмы «ТехИнвест». В данном примере на 3-й вход АЦП поступает сигнал +3,3 В, который преобразуется в канал 2667. Опрос как АЦП, так и выхода обоих блоков защиты осуществляется по событию onTimer (C++ Builder) обычно с фиксированным интервалом времени 2–3 с.

4.2. Программа моделирования процесса остановов пучка для более сложных алгоритмов. Программа Simula.exe разработана для компьютерного моделирования «регистрируемых» событий и проверки алгоритмов поиска корреляций, в том числе и более сложных, чем ER- α , таких как моделирование и поиск в реальном масштабе времени коррелированных звеньев типа ER- α - α . Следует отметить, что подробное описание данной программы представлено в работе [24]. Конечным же результатом действия программы является текстовый файл result.txt, в котором фиксируются найденные корреляционные звенья.

4.3. Программа U400.exe. Данная программа является модификацией ранее применяемого приложения для измерения энергии пучка циклотрона У-400 ЛЯР ОИЯИ путем измерения времени пролета с электродов PickUp [23]. Принцип работы предельно прост. После заполнения буфера (1000 импульсов) программа находит центр тяжести пика, и по найденному значению времени пролета и известной массе иона находится искомое значение энергии пучка. Данное значение доступно не только экспериментатору, но и оператору циклотрона, который может вносить коррективы, менять настройку циклотрона

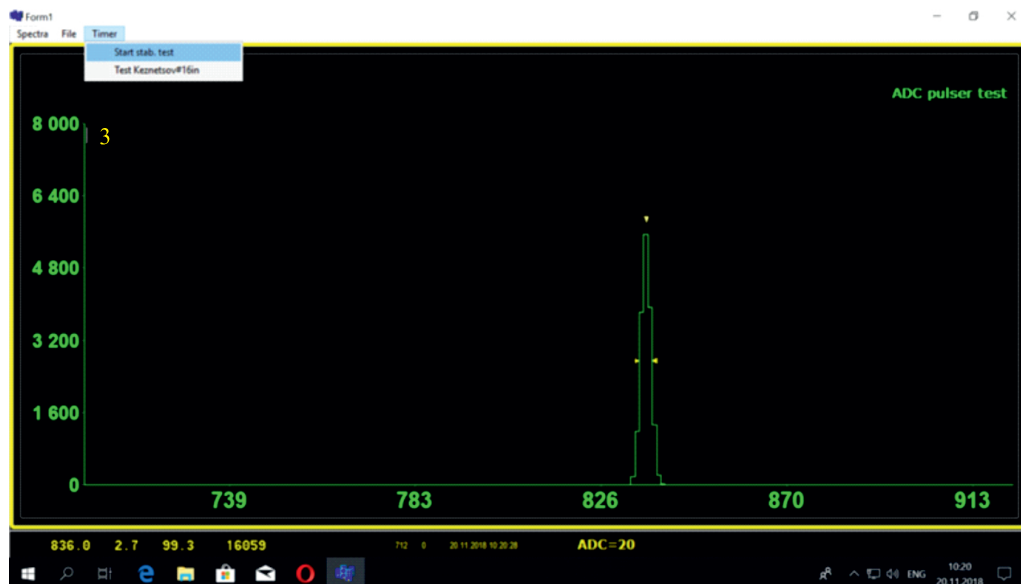


Рис. 8. Интерфейс программы Single.exe. Показан пункт меню теста стабильности. На нижней панели показано текущее значение центра тяжести пика (канал 836.0). Верхнее значение в левом углу 3 — ПШПВ в каналах. Тип АЦП — ПА25 «ТехИнвест»

в масштабе времени одной или нескольких секунд. Подробно принцип измерения изложен в работе [23].

4.4. Программа Single.exe. Программа Single.exe предназначена для тестирования одиночных АЦП, в том числе для проведения тестов долговременной стабильности. На рис. 8 показан основной интерфейс программы, а также развернутый пункт меню для включения теста стабильности. После включения данного режима программа по событию onTimer (обычно раз в 5 мин) автоматически находит центр тяжести наиболее интенсивного пика и заносит это значение в текстовый файл с указанием астрономического времени. Анализ этого файла и является результатом теста. В данном случае проверяется стабильность всей аппаратной линии: генератор – зарядочувствительный предусилитель – формирующий усилитель – АЦП.

5. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ БЛОК 2М 16-in «ТехИнвест» КАК ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ

Если, как показано на рис. 3, в меню <actuator> выбрана позиция 16-in «ТехИнвест», то это означает, что на соответствующем месте в крейте должен находиться блок 16-in Discriminator (рис. 9). При этом фирма-производитель должна так запрограммировать матрицу «ALTERA», чтобы были актуальны следующие функции и выходы блока:

- Входы 1–15 DB-37-NIM, счетчики (15 шт.) 16 bit, причем F(10)A(0) — запуск интервала измерения всех счетчиков и сброс предыдущих значений;
- F(16)A(0)W[8-1] — запись интервала счета всех счетчиков;

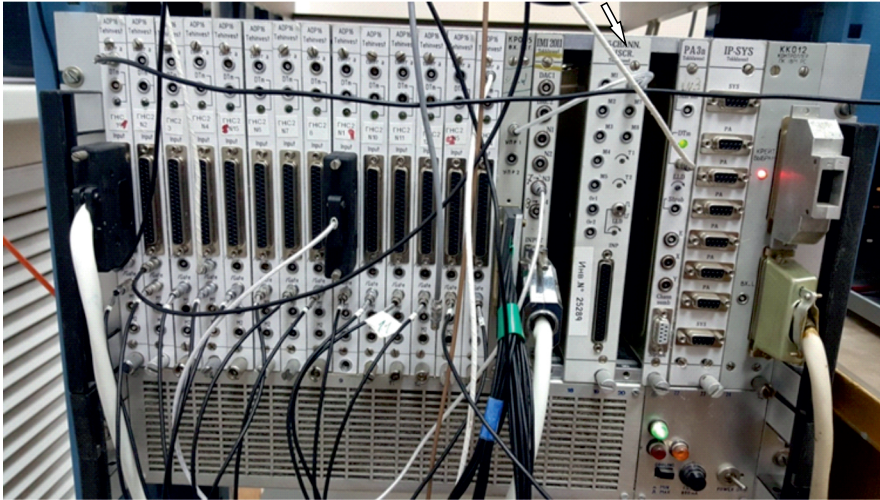


Рис. 9. Блок 2М 16-in Discriminator в крейте системы набора данных (показан стрелкой)

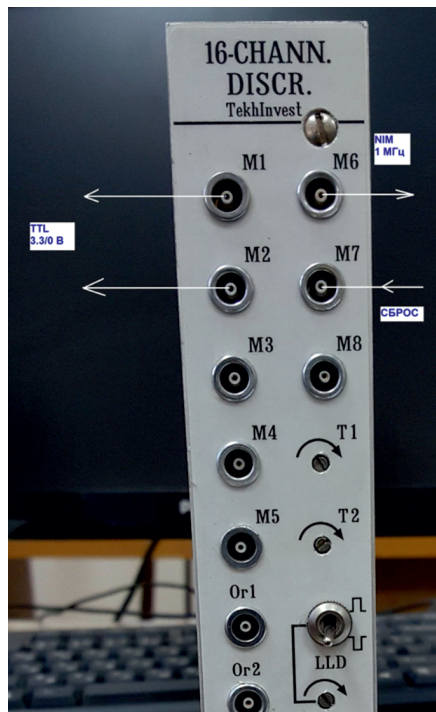


Рис. 10. Блок 16-in Discriminator. Стрелками показаны основные выходы

- F(0)A[14-0]W[8-1] — чтение данных счетчиков;
- разъем M1 — выход TTL, NA(1)F(26) установка на уровне +3,3 В. NA(1)F(24) — установка на уровне 0 В (см. рис. 10);

- М8 — вход сигнала «сброс» дополнительного счетчика 16 bit. Сброс осуществляется по изменению $3,3 \rightarrow 0$ TTL;
 - выход М6 — генератор NIM сигналов 1 МГц.
- На рис. 10 показан блок 2М 16-in Discriminator и соответствующие входы/выходы.

6. АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ («ГИБКИЙ») АЛГОРИТМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В работе [9] предложено оптимизировать алгоритм реального времени по допустимой величине потерь времени облучения мишени. Шаблон функции, осуществляющей данное действие, мог бы выглядеть следующим образом. Пусть $\|\varepsilon_{ij}\|$ — матрица входных параметров, определяющих возможность останова при регистрации корреляционного события в элементе (i, j) , где $i = 1-48$ и $j = 1-128$.

Для определенности рассмотрим корреляцию типа ER- α - α . В этом случае допустимое время $t_{i,j}$ от рекойла до второй α -частицы определяется из соотношения

$$CP_{i,j}^{\text{ER}}(1, t_{i,j})P_{i,j}^{\alpha}(2, t_{i,j}) \leq \varepsilon_{i,j}.$$

В данной записи значения P обозначают вероятности получить на интервале $(0, t_{i,j})$ один рекойл (ER) и две α -частицы. Обычно имеют дело с вероятностями, соответствующими пуассоновскому процессу [24]. Нормировочный множитель C с очевидностью (см. комбинации сигналов ниже) в данном случае равен $1/3$. Комбинации возможных сигналов таковы: ER- α - α , α -ER- α и α - α -ER.

Отметим, что только первая комбинация отвечает физическому смыслу. И в случае, если сигналы двух α -частиц различимы, т. е. имеют место сигналы α_1 и α_2 , будем иметь дело со следующими комбинациями: ER- α_1 - α_2 , ER- α_2 - α_1 , α_1 -ER- α_2 , α_2 -ER- α_1 , α_1 - α_2 -ER и α_2 - α_1 -ER. Соответственно, в этом случае $C = 1/6$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлен программный пакет C++ REDSTORM2 для исследований реакций на пучке тяжелых ионов нового циклотрона ЛЯР ОИЯИ — DC-280. Ряд решений соответствует как применению DSSSD позиционно-чувствительных детекторов нового газонаполненного сепаратора ЛЯР ОИЯИ, так и условиям использования сверхинтенсивных пучков тяжелых ионов в реакциях синтеза сверхтяжелых элементов. Выполнен ряд предварительных тестов.

Автор выражает благодарность своим коллегам А. Н. Полякову и А. А. Воинову за помощь в работе. Работа выполнена при частичной поддержке грантом РФФИ № 16-52-55002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Oganessian Yu. Ts. et al. // Phys. Rev. C. 2004. V. 70. P. 064609.
2. Oganessian Yu. Ts. et al. // Ibid. V. 69. P. 054607.
3. Oganessian Yu. Ts. et al. // Phys. Rev. C. 2015. V. 92. P. 034609.
4. Oganessian Yu. Ts. et al. // Phys. Rev. C. 2007. V. 76. P. 011601 (R).

5. *Oganessian Yu. Ts. et al.* // Phys. Rev. C. 2018. V. 97. P. 014320.
6. *Цыганов Ю. С.* // ЭЧАЯ. 2014. Т. 45, вып. 5–6. С. 1485–1531.
7. *Tsyganov Yu. S.* // Nucl. Instr. Meth. A. 1996. V. 378. P. 356–359.
8. *Tsyganov Yu. S. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2003. V. 513. P. 413–416.
9. *Цыганов Ю. С. и др.* // ЭЧАЯ. 2018. Т. 49, вып. 6. С. 1624–1642.
10. *Tsyganov Yu. S., Polyakov A. N.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2006. V. 558. P. 329–332.
11. *Tsyganov Yu. S. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2004. V. 525. P. 213–216.
12. *Tsyganov Yu. S.* // Phys. Part. Nucl. 2016. V. 47, No. 1. P. 73–107.
13. *Tsyganov Yu. S.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2016. V. 13, No. 1. P. 112–119.
14. *Tsyganov Yu. S.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2015. V. 12, No. 4. P. 570–577.
15. *Tsyganov Yu. S.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2011. V. 8, No. 5. P. 374–378.
16. *Tsyganov Yu., Polyakov A.* // Cybernetics & Physics. 2014. V. 3, No. 2. P. 85–90.
17. *Gulbekian G. G., Dmitriev S. N., Oganessian Yu. Ts. et al.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2018. V. 15, No. 7. P. 803–807.
18. *Gulbekian G., Gikal B., Kalagin I., Kazarinov N.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2010. V. 7, No. 7. P. 511–516.
19. *Oganessian Yu. Ts. et al.* // Phys. Rev. C. 2013. V. 87. P. 014302.
20. *Tsyganov Yu. S.* // Proc. of XXIV Intern. Symp. on Nucl. Electronics & Computing “NEC’2013”, Varna, Bulgaria, Sept. 9–16, 2013. Dubna, 2016. P. 247–250.
21. *Oganessian Yu. Ts. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2012. V. 109. P. 162501.
22. IMI-2011 “TekhInvest” Manual;
Kuznetsov A. N. Private Communication. 2011.
23. *Сухов А. М., Поляков А. Н., Цыганов Ю. С.* // Письма в ЭЧАЯ. 2010. Т. 7, №5(161). С. 603–615.

Получено 15 января 2019 г.