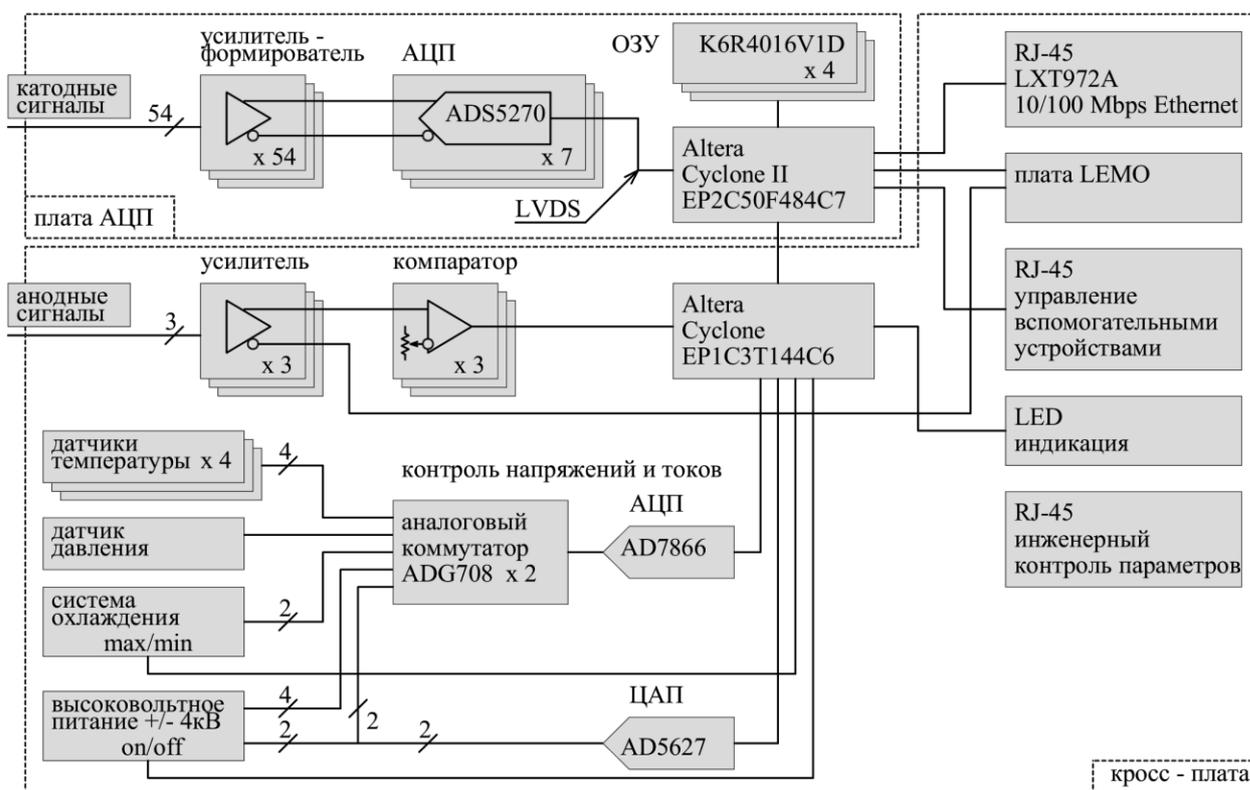


## Приложение 1

### Регистрирующая электроника детектора ОД-3М

Связующим элементом электроники детектора является **кросс-плата**, блок-схема связей показана на рисунке.



Элементы платы АЦП подробно описаны в основном тексте, за исключением **ОЗУ**. Для обработки и накопления данных используются микросхемы памяти K6R4016V1D. Емкость ОЗУ - 512К 32-разрядных слов, время доступа - 8нсек, что позволяет путем мультиплексирования шин адреса и данных за один такт обработки данных детектора (100нсек) организовать 4 обращения к памяти и реализовать в едином адресном пространстве RAM1, RAM2, инкрементную память и память для накопления гистограмм.

На **кросс-плате** расположены узлы вспомогательной электроники и разъемы внешних соединений детектора.

1. В ПЛИС **ALTERA** семейства Cyclone (EP1C3T144C6) размещается управляющая программа (firmware), основные функции которой:

- управление и контроль параметров высоковольтного питания;
- контроль анодных загрузок и показаний датчиков температуры и давления;
- управление и контроль исправности системы охлаждения;
- передача данных системы контроля в firmware платы АЦП и на плату индикации.

2. В двухканальном **источнике высоковольтного питания** +/- 4кВ применены модули G40 (EMCO). Выходное напряжение пропорционально управляющему, которое формируется с помощью 2-канального 12-разрядного ЦАПa AD5627. Требуемые значения выходного напряжения и скорость его изменения при включении и выключении задается в firmware, реальные напряжение и ток измеряются электроникой кросс-платы.

3. Сигналы анодных проволок объединены в три группы, дающие примерно одинаковую скорость счета событий.

**Усилитель** анодных сигналов выполнен на микросхеме видеоусилителя K174УВ5 (аналог LM377) с парафазным выходом. Выходной сигнал положительной полярности подается на компаратор и далее используется для счета анодных загрузок, сигнал отрицательной полярности доступен для контроля с помощью осциллографа.

В качестве **компаратора** использована микросхема AD8611 с временем задержки распространения 4нсек. Порог срабатывания формируется с помощью многооборотного потенциометра, диапазон регулировки 0-200mV.

4. **Датчики температуры** TMP37 предназначены для измерения температуры в критических точках отсека электроники.

Для измерения **давления** в газовом объеме используется сенсор MPX4250AP.

5. Система охлаждения состоит из 6 вентиляторов Ф48 мм, работающих в проточном режиме. Режим повышенных / пониженных оборотов выбирается firmware в соответствии с показаниями датчиков температуры и установок в пользовательском интерфейсе рабочей программы. Измерение протекающего через вентиляторы тока дает возможность контролировать работоспособность вентиляторов как «на обрыв», так и на механическую остановку.

6. Все перечисленные выше контролируемые показания передаются в узел **контроля напряжения и токов**, состоящего из **аналогового коммутатора**, выполненного на двух 8-канальных мультиплексорах ADG708, и АЦП, в качестве которого использован 2-канальный 12-разрядный АЦП AD7866. АЦП работает под управлением firmware кросс-платы, туда же поступают результаты оцифровки. Кроме того, контролируемые показания также подаются на разъемы **инженерного контроля параметров** для измерения внешним вольтметром.

7. Для **светодиодной индикации**, информирующей о состоянии различных узлов детектора, использован многоканальный драйвер LED-дисплея MAX6956 с 2-проводным последовательным интерфейсом управления I<sup>2</sup>S. Часть светодиодов отражают статусную информацию: готовность детектора и текущее состояние процесса измерения, включение высоковольтного питания, режим работы системы охлаждения и срабатывание защиты по температуре. Шесть светодиодов индицирует наличие срабатываний (событий) в детекторе, сигналы с катодных полосок объединены в группы по 9.

8. **Ethernet** приемо-передатчик работает под контролем firmware платы АЦП, выполнен на основе контроллера LXT972A в стандартном включении.

9. На плате ЛЕМО размещены 8 разъемов следующего назначения:

- **Start**, **Next Frame**, **Data Ready** и **Sync** – для организации внешнего управления работой детектора; стандарт сигналов NIM или TTL, выбирается переключателями; формируются и контролируются firmware платы АЦП;

- **Anode Signals** (3 шт.) - контроль анодных сигналов с помощью осциллографа;

- **Test** - сигнал для настройки коэффициентов усиления аналогового тракта.

**10.** Для будущих применений в детекторе заложена возможность **управления вспомогательными внешними устройствами** с использованием оптронной развязки (под контролем firmware платы АЦП). Драйвер оптронов – SN74LS03 с открытым коллектором, ток в линию – около 8мА.

## Приложение 2

### Система питания детектора ОД-3М

Для снижения рассеиваемой мощности рабочие напряжения формируются в несколько этапов с максимально возможным использованием импульсных преобразователей напряжения.

Для повышения надежности, все силовые элементы системы питания работают в режиме не более 60% от максимально допустимого.

Суммарная потребляемая детектором мощность составляет около 70 Вт. Вопрос отвода тепла решается системой проточной вентиляции и обеспечением теплового контакта всех преобразователей и стабилизаторов напряжения со стенками-радиаторами детектора.

Система питания состоит из внешнего блока питания с AC-DC преобразователями (рисунок 1), платы с DC-DC преобразователями, смонтированной на стенке-радиаторе детектора и комплекса аналоговых и импульсных стабилизаторов напряжения, размещенных на платах внутри корпуса детектора.

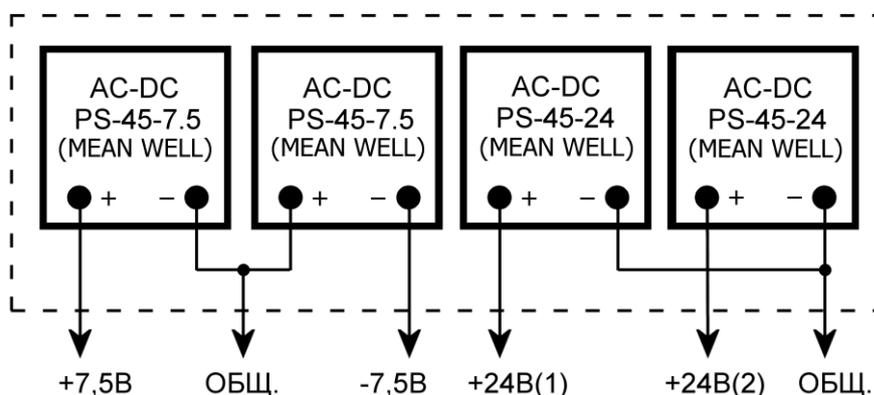


Рисунок 1. Внешний блок питания

Блок-схемы последовательности формирования и распределения напряжений по узлам детектора показаны на рисунках 2 и 3.

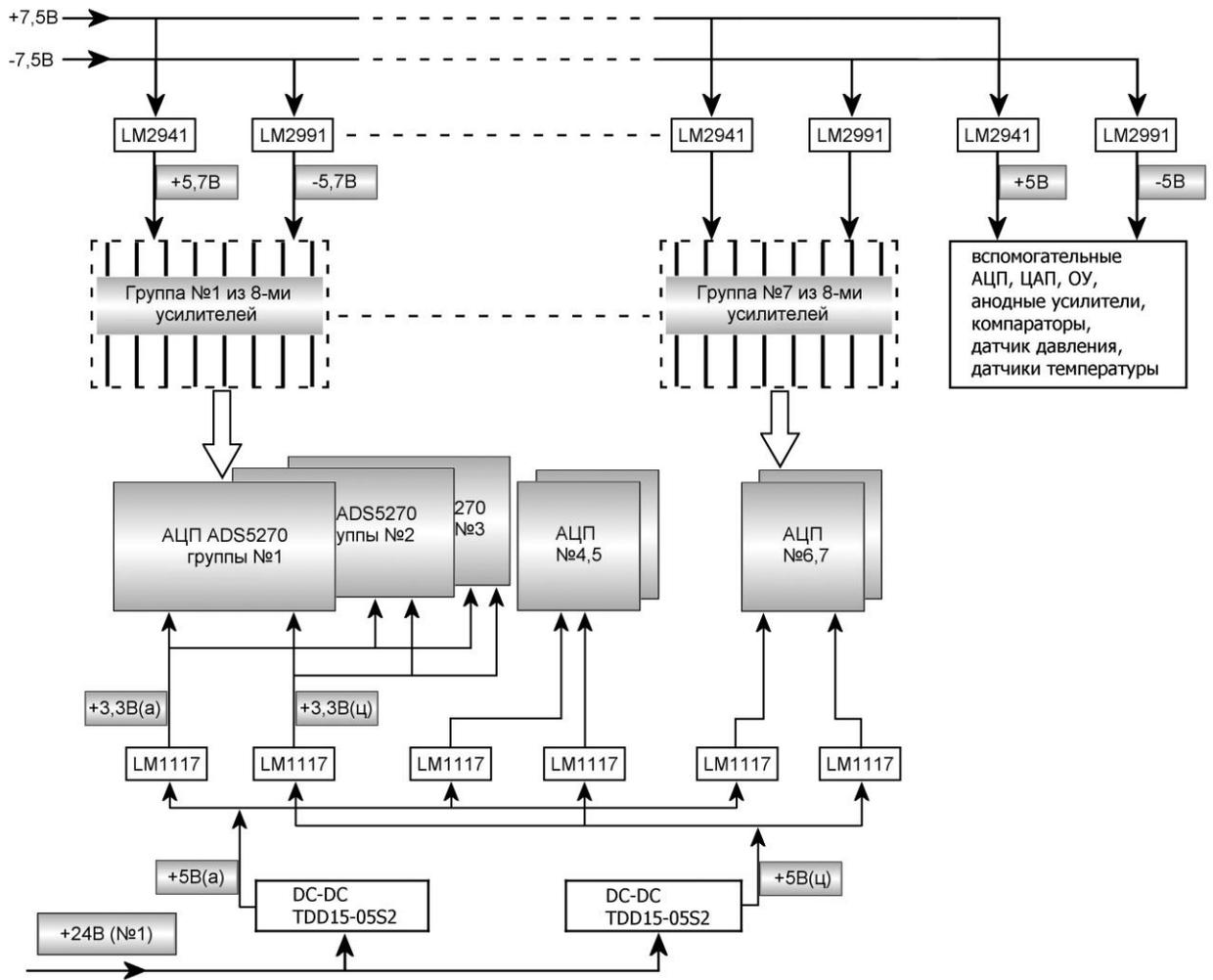


Рисунок 2. Питание плат усилителей, АЦП и вспомогательной электроники.

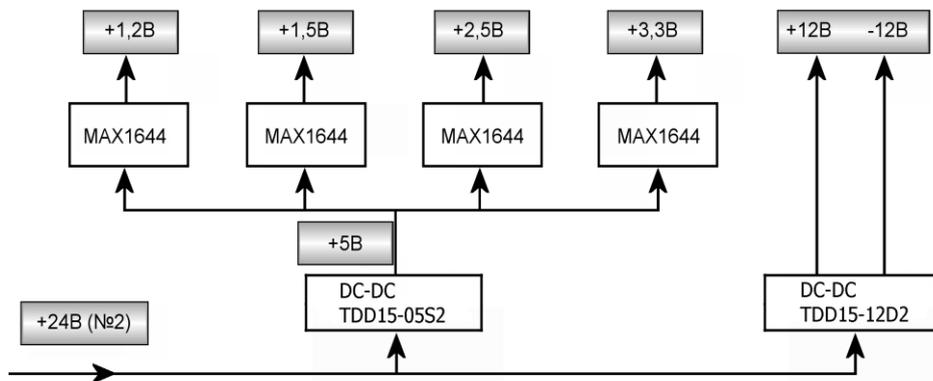
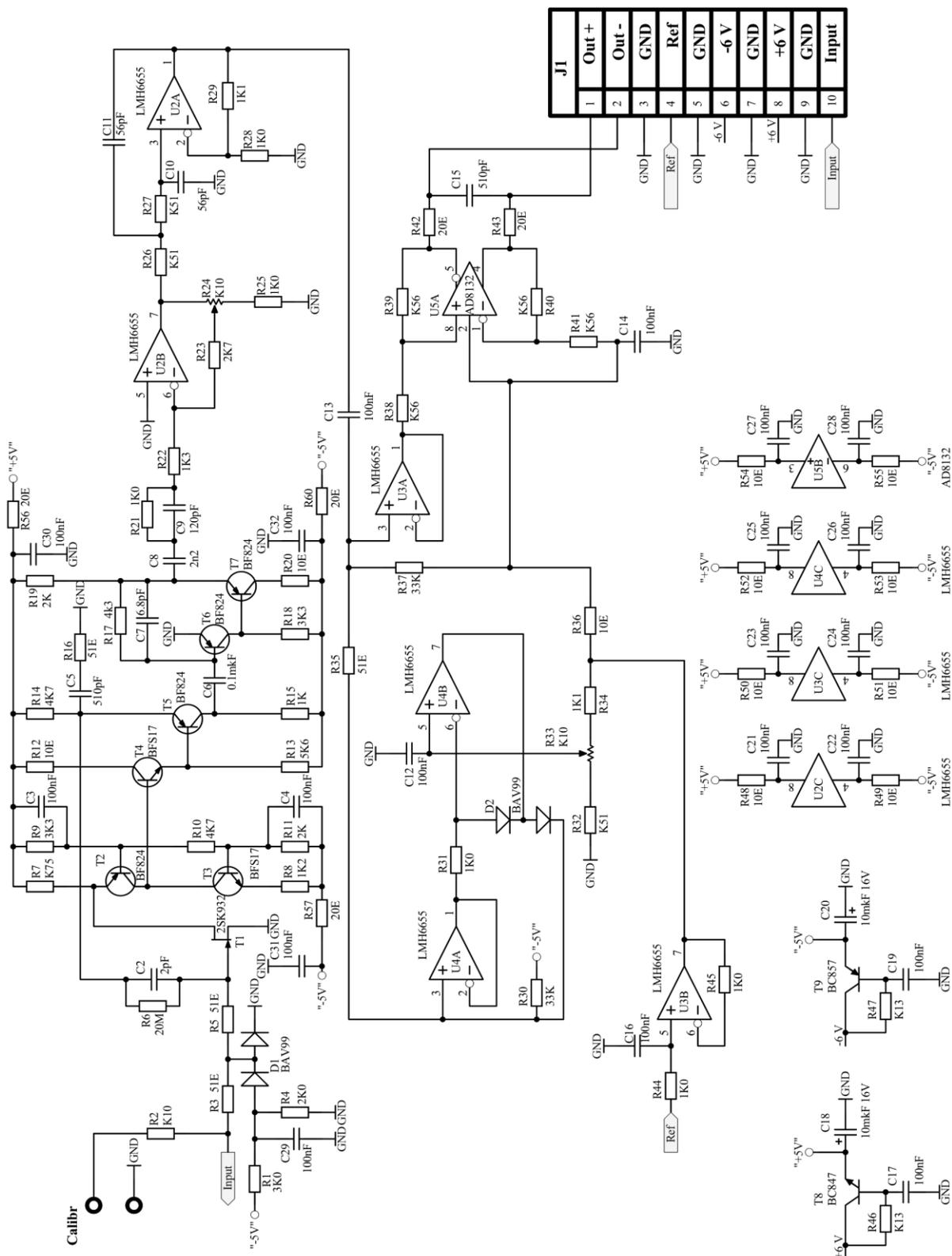


Рисунок 3. Питание ПЛИС ALTERA, ОЗУ, ETHERNET, высоковольтных источников напряжения и системы вентиляции.

# Приложение 3

## Схема усилителя – формирователя



## Приложение 4

### Триггер

В условиях больших нагрузок и, следовательно, большой вероятности наложения сигналов от разных событий, чёткая работа системы триггера является обязательным условием неискажённой регистрации координатного спектра входного потока квантов.

Задачей триггера является выделение и отбраковка событий в детекторе. Под событием понимается возникновение в сигнале с полосы с номером  $n$  максимума по времени и по координате.

Работа триггера начинается с того, что последовательность цифровых значений сигналов с полосок подвергается процедуре **нормализации** в соответствии с алгоритмом:

$$y_m^n = \text{floor}(k^n * (64 * a_m^n + r_m^n)) + P^n, \text{ где } 0.375 \leq k^n = \frac{98304 + K^n}{262144} < 0.625,$$

где:

- $n$  – номер полоски;
- $m$  – такт оцифровки;
- $t_m$  – момент оцифровки.  $t_m = t_0 + m * 25 \text{ ns}$  ;
- $a_m^n$  – оцифрованное значение сигнала в  $n$ -ой полоске в момент времени  $t_m$  .  
 $0 \leq a_m^n \leq 4095$  ;
- $r_m^n$  – псевдослучайная величина,  $0 \leq r_m^n \leq 63$  ;
- $y_m^n$  – нормализованное значение сигнала в  $n$ -ой полоске в момент времени  $t_m$  ;
- $K^n, P^n$  – параметры нормализации,  $0 \leq P^n, K^n \leq 65535$  , при этом,  $0 \leq y_m^n \leq 229373$  .

По умолчанию  $P^n$  и  $K^n$  равны 0 и 32768 соответственно;

- $Y_m^n$  – максимум в  $n$ -ой полоске в окрестности  $t_m$  :  $Y_m^n = \max(y_{m-1}^n, y_m^n, y_{m+1}^n)$  .

Параметры  $P^n$  и  $K^n$  используются для on-line цифровой коррекции смещений и коэффициентов усиления каналов аналогового тракта.

Далее по тексту:  $n$  – номер полосы, для которой формируется решение триггера;  $H_0 \div H_4$  – пороги на нормализованную амплитуду при формировании условий триггера ( $0 \leq H_0 \div H_4 \leq 2^{18} - 1$ ):

$H_0$  – минимальная амплитуда сигнала;

$H_1$  – минимальная сумма трех амплитуд;

$H_2$  – максимальная сумма трех амплитуд;

$H_3$  – максимальная амплитуда сигнала;

$H_4$  – максимальная амплитуда сигнала во время «мертвого времени».

### Установки триггера.

Интерфейс пользователя позволяет менять условия триггера, ослабляя или ужесточая условия отбора событий :

1. **ampl\_mode** – задается количество полосок, для которых требуется максимум по времени: 0 – { $n$ }, 1 – { $n-1, n, n+1$ }, 2 – { $n-2, n-1, n, n+1, n+2$ }, 3 – { $n-3, n-2, n-1, n, n+1, n+2, n+3$ };
2. **spat\_mode** – задается количество полосок, для которых требуется максимум по координате: 0 – максимум по координате не требуется, 1 – { $n-1, n, n+1$ }, 2 – { $n-2, n-1, n, n+1, n+2$ }, 3 – { $n-3, n-2, n-1, n, n+1, n+2, n+3$ };
3. **c\_only** – режим порогов  $H_1, H_2$  триггера: 0 – пороги применяются к сумме 3-х полосок { $n-1, n, n+1$ }, 1 – пороги применяются к одной полоске { $n$ };
4. **dead\_time\_ena** – разрешение «мертвого времени»;
5. **dead\_time** – длительность мертвого времени  $T = \mathbf{dead\_time} * 25$  нс.

Для  $y_m^k$  выполнено условие на **максимум по времени**, если выполнены все перечисленные ниже условия 1 – 3.

$$1. H_0 \leq y_{m-3}^k < y_{m-2}^k < y_{m-1}^k < y_m^k \geq y_{m+1}^k > y_{m+2}^k > y_{m+3}^k \geq H_0 ;$$

2.  $y_m^k \leq H3$ ;
3.  $\{y_{m-\text{dead\_time}-3}^k, \dots, y_{m-4}^k\} \leq H4$  если **dead\_time\_ena** = 1 и **dead\_time**  $\geq 1$ ;

### Условия формирования решения триггера.

Для того, чтобы для полосы с номером **n** сформировалось решение триггера для момента времени **m** необходимо выполнение всех ниже перечисленных условий I-XII:

- I. если **ampl\_mode** = 3, то выполнено любое из трех условий А–С:
- А. для  $y_{m-1}^{n-3}$  выполнено условие на **максимум по времени**;
  - В. для  $y_m^{n-3}$  выполнено условие на **максимум по времени**;
  - С. для  $y_{m+1}^{n-3}$  выполнено условие на **максимум по времени**;
- II. если **ampl\_mode**  $\geq 2$ , то выполнено любое из трех условий А–С:
- А. для  $y_{m-1}^{n-2}$  выполнено условие на **максимум по времени**;
  - В. для  $y_m^{n-2}$  выполнено условие на **максимум по времени**;
  - С. для  $y_{m+1}^{n-2}$  выполнено условие на **максимум по времени**;
- III. если **ampl\_mode**  $\geq 1$ , то выполнено любое из трех условий А–С:
- А. для  $y_{m-1}^{n-1}$  выполнено условие на **максимум по времени**;
  - В. для  $y_m^{n-1}$  выполнено условие на **максимум по времени**;
  - С. для  $y_{m+1}^{n-1}$  выполнено условие на **максимум по времени**;
- IV. для  $y_m^n$  выполнено условие на **максимум по времени**;
- V. если **ampl\_mode**  $\geq 1$ , то выполнено любое из трех условий А–С:
- А. для  $y_{m-1}^{n+1}$  выполнено условие на **максимум по времени**;
  - В. для  $y_m^{n+1}$  выполнено условие на **максимум по времени**;
  - С. для  $y_{m+1}^{n+1}$  выполнено условие на **максимум по времени**;

VI. если  $\mathbf{ampl\_mode} \geq 2$ , то выполнено любое из трех условий **A–C**:

**A.** для  $y_{m-1}^{n+2}$  выполнено условие на **максимум по времени**;

**B.** для  $y_m^{n+2}$  выполнено условие на **максимум по времени**;

**C.** для  $y_{m+1}^{n+2}$  выполнено условие на **максимум по времени**;

VII. если  $\mathbf{ampl\_mode} = 3$ , то выполнено любое из трех условий **A–C**:

**A.** для  $y_{m-1}^{n+3}$  выполнено условие на **максимум по времени**;

**B.** для  $y_m^{n+3}$  выполнено условие на **максимум по времени**;

**C.** для  $y_{m+1}^{n+3}$  выполнено условие на **максимум по времени**;

VIII. если  $\mathbf{spat\_mode} = 1$ , то  $Y_m^{n-1} \leq Y_m^n > Y_m^{n+1}$  ;

IX. если  $\mathbf{spat\_mode} = 2$ , то  $Y_m^{n-2} < Y_m^{n-1} \leq Y_m^n > Y_m^{n+1} > Y_m^{n+2}$  ;

X. если  $\mathbf{spat\_mode} = 3$ , то  $Y_m^{n-3} < Y_m^{n-2} < Y_m^{n-1} \leq Y_m^n > Y_m^{n+1} > Y_m^{n+2} > Y_m^{n+3}$  ;

XI. если  $\mathbf{c\_only} = 0$ , то  $\mathbf{H1} \leq Y_m^{n-1} + Y_m^n + Y_m^{n+1} \leq \mathbf{H2}$  ;

XII. если  $\mathbf{c\_only} = 1$ , то  $\mathbf{H1} \leq Y_m^n \leq \mathbf{H2}$  .

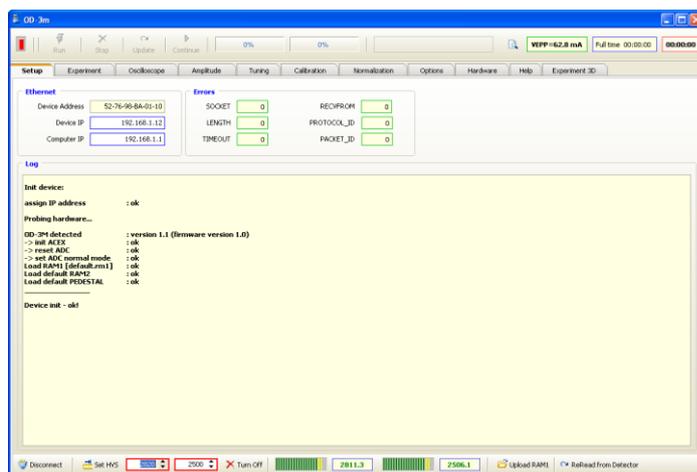
## Приложение 5

### Интерфейс пользователя

Интерфейс пользователя состоит из нескольких окон, каждое из которых, в свою очередь, содержит ряд кнопок для управления процессами в детекторе и панели для задания и контроля параметров. Здесь приведены лишь самые общие сведения.

Окно **Setup** появляется автоматически сразу после запуска на компьютере управляющей программы. Работа начинается с нажатия кнопки **Connect**.

После соединения детектора с компьютером в окне появляются ряд сообщений о текущем состоянии. Из этого окна можно задать величины высоковольтных напряжений на камере и включить (или выключить) их.



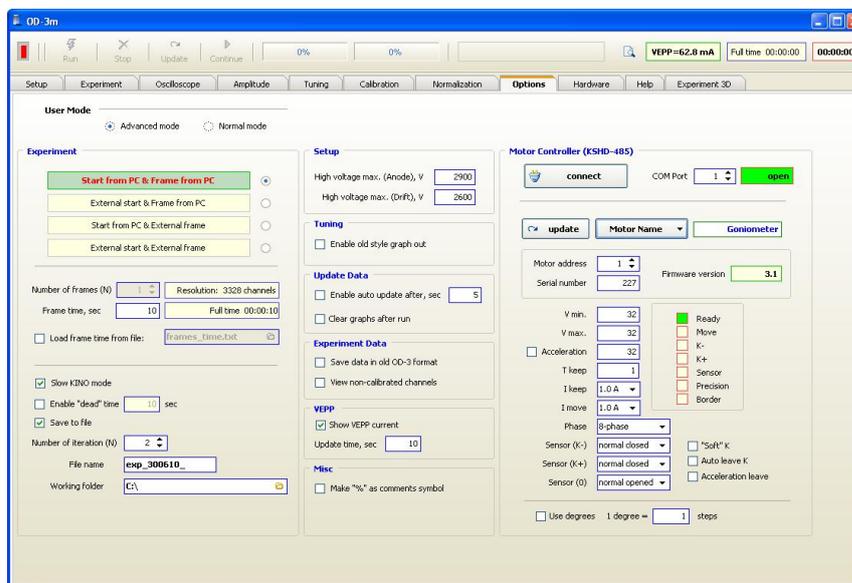
Имеется индикация реальных значений установившихся напряжений.

Из этого окна, как и из других, нажатием соответствующей кнопки можно перейти в любое другое доступное окно программы.

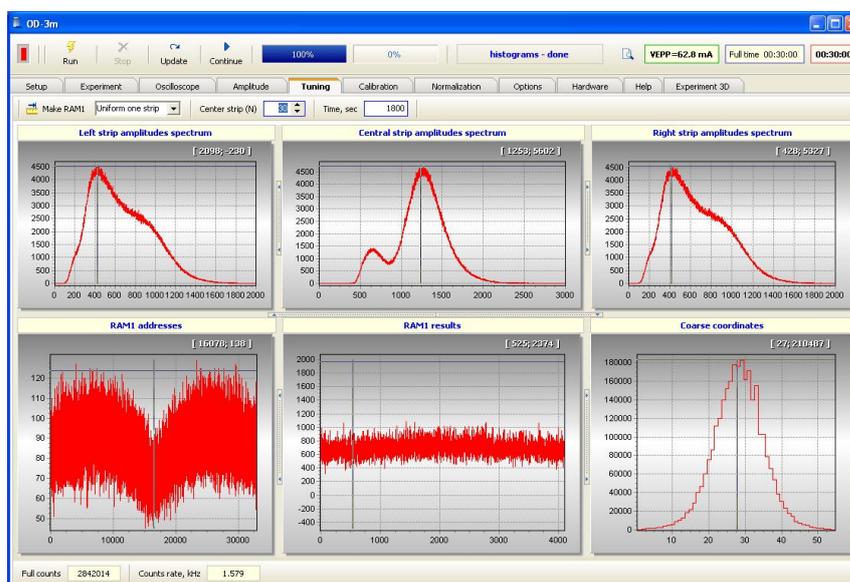
Набор доступных окон зависит от выбранного режима (**Normal / Advanced**), который задается в окне **Options**.

**Важно!** Окна **Oscilloscope**, **Amplitude** и **Hardware** предоставляют специальные возможности не только по контролю, но и по изменению (окно **Hardware**) параметров детектора. Использование этих возможностей предполагает достаточно глубокое знание конструкции детектора. По этой причине в режиме **Normal mode** указанные окна недоступны.

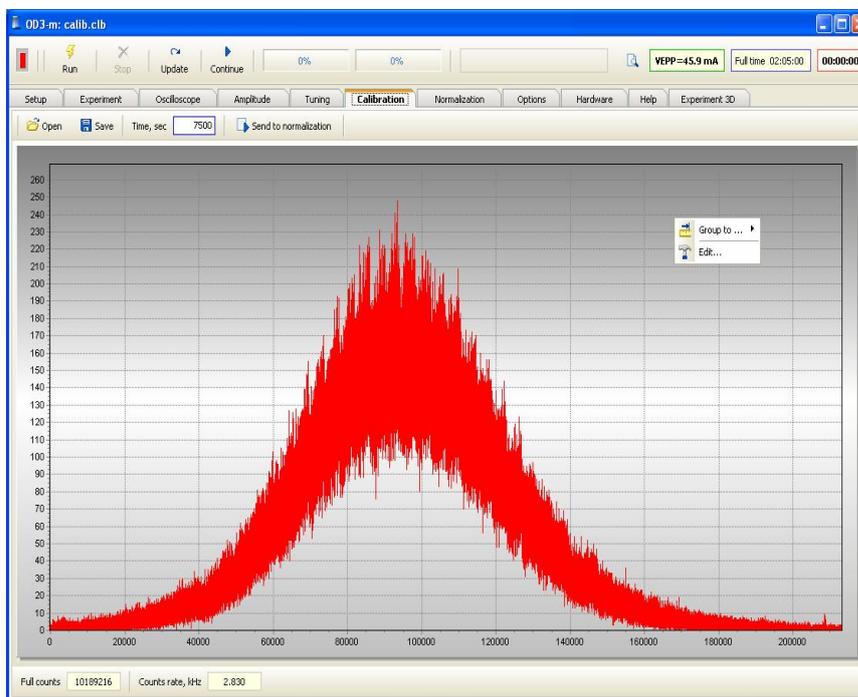
В окне **Options** производится выбор режима, задаются параметры, непосредственно относящиеся к эксперименту: число и длительность кадров «Кино», способ синхронизации запуска эксперимента и «Кино», параметры отображения информации в ходе накопления данных.



Окно **Tuning** используется для набора и просмотра различных гистограмм, характеризующих состояние детектора. По положениям пиков амплитудных спектров можно произвести тонкую настройку величины анодного напряжения. Здесь же можно набрать гистограмму **Спектр адресов RAM1**, по которой затем можно вычислить, сохранить и записать в RAM1 таблицу.

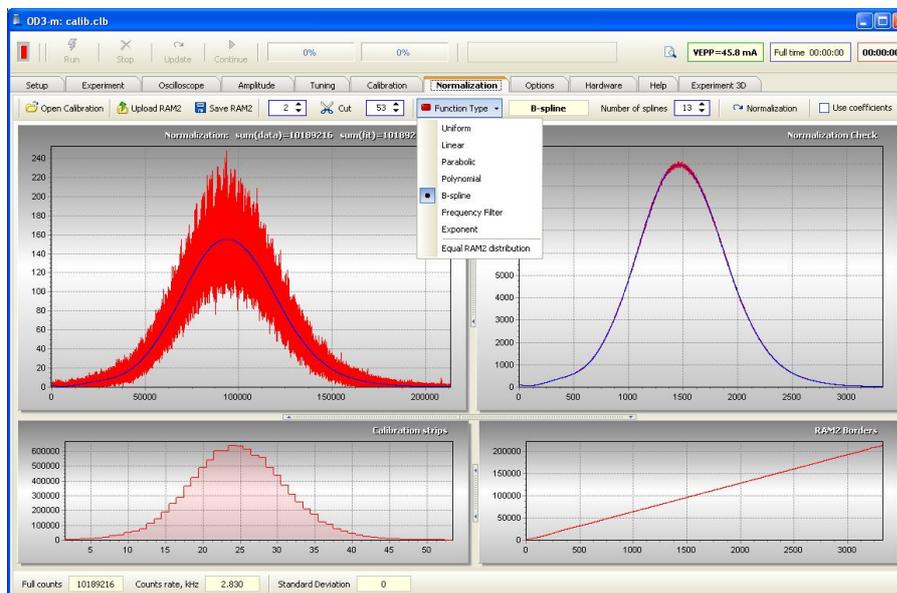


Окно **Calibration** используется для набора гистограммы калибровки RAM2. Гистограмма набирается по всему детектору в единицах микроканалов.

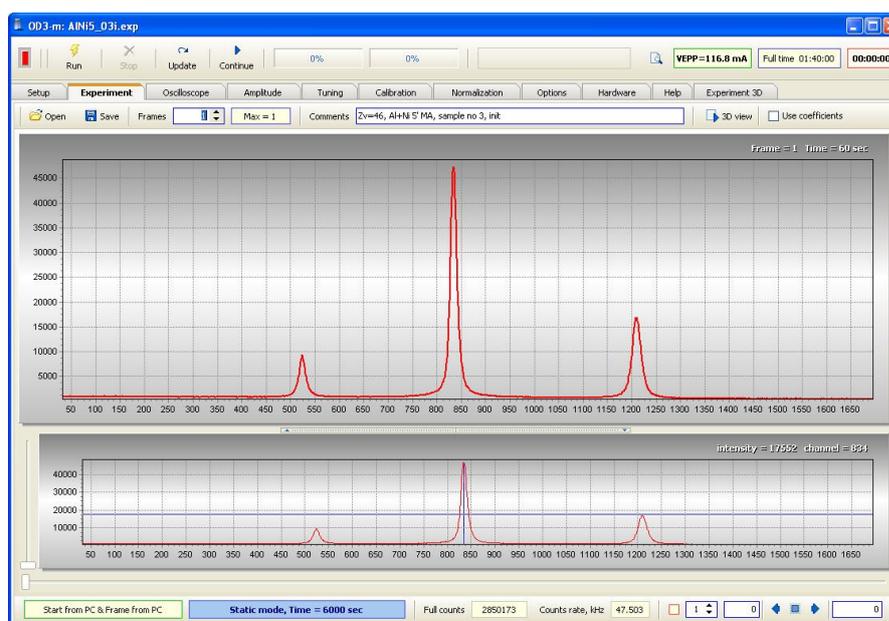


После набора желаемой статистики гистограмму можно запомнить в файле **xxx.clb** и переслать в окно **Normalization** для последующей обработки.

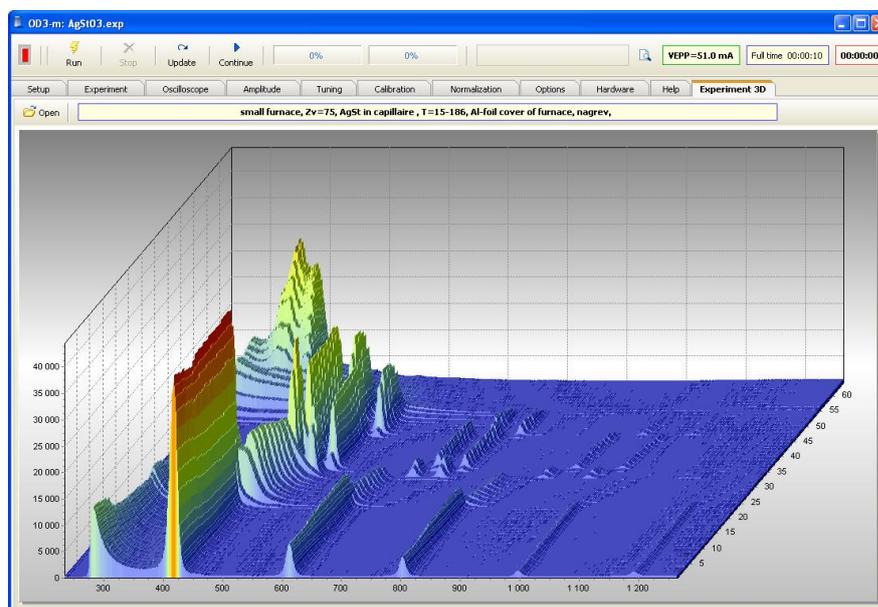
Меню окна **Normalization** дает широкие возможности для обработки гистограммы калибровки. Здесь можно выбрать вид функции аппроксимации, рассчитать таблицу RAM2 и проконтролировать результат, сохранить таблицу в файле **xxx.rm2**, загрузить в детектор нужную таблицу.



Из окна **Experiment**, как следует из названия, ведется управление набором экспериментальных данных. На панелях окна отображается вся необходимая информация – время, прошедшее после старта и оставшееся до окончания измерения, текущий номер кадра, загрузка детектора, количество набранных событий и т.п.



Нажав на кнопку **3D view** набранные в процессе съемки «Кино» данные можно переправить в окно **Experiment 3D** для отображения в трехмерном виде. Это бывает полезно при оперативном анализе дифракционной картины структурных изменений, происходящих в образце в процессе реакции.



Следующие 3 окна доступны в режиме **Advanced** и используются при настройке и контроле параметров детектора.

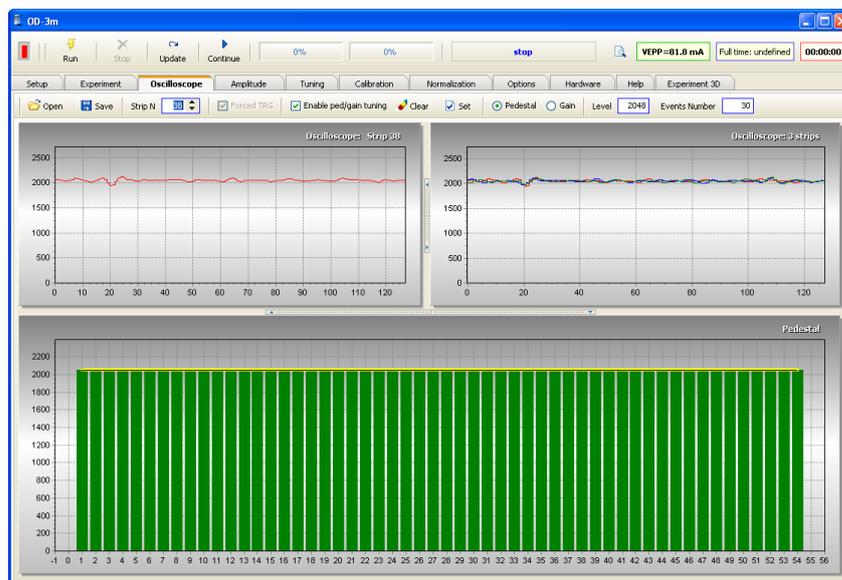
В окне **Hardware** можно задать условия запуска и отбора событий, проконтролировать соответствие установок и реальных значений анодного и дрейфового напряжений, а также токи по этим электродам.

В окне отображаются показания 4-х температурных датчиков и датчика давления, загрузки по 3-м группам анодных проволок и много другой полезной информации.

The screenshot displays the 'Hardware' tab of the OD-3m software. The interface is organized into several sections:

- Top Bar:** Includes a status bar with 'VEPP=65.8 mA', 'Full time 00:00:00', and '00:00:00'. Below it are tabs for Setup, Experiment, Oscilloscope, Amplitude, Tuning, Calibration, Normalization, Options, **Hardware**, Help, and Experiment 3D.
- Left Panel:** Contains 'Load default parameters', 'Load profile', 'Save profile', and 'Current profile' (default.pf). Below is the 'Trigger Mode' section with checkboxes for 'Enable trigger' (checked) and 'Enable "Dead Time"' (checked), a 'Trigger code' field (81), and a 'Duration' field (4). There are also dropdowns for 'Time Peak', 'Coordinate Peak', and 'THR1 & THR2'.
- Right Panel (Top):** 'Trigger Mask' section with a grid of checkboxes for strips 15-01, 31-16, 47-32, and 54-48. Below is the 'Thresholds' section with values for THR0 (-2048), THR1 (1000), THR2 (8000), THR3 (4000), and THR4 (200). The 'Write/Read Registers' section has 'write' and 'read' buttons and a 'Register' field (FFF0).
- Right Panel (Bottom):** 'Oscilloscope' section with a checked 'View ADC data' box and a 'Start sample' field (16). Below is the 'Hardware Monitoring' section with 'Enable monitoring' checked, 'Update time, ms' (500), and 'Enable write to file after' (10 sec). It shows 'Simple trigger counts' (3090328).
- Monitoring Data:**
  - HVS monitoring:** Shows settings for HV+ (Anode) and HV- (Drift) codes, and monitoring values for U+ (Anode), U- (Drift), HV DAC: U+ (Anode), HV DAC: U- (Drift), and HV: I+ (Anode), HV: I- (Drift) in mA.
  - Intensity, kHz:** Shows values for Group 1 (0.307), Group 2 (0.320), Group 3 (0.032), and Total (0.659).
  - Temperature, °C:** Shows values for TEMP 1 (43.6), TEMP 2 (42.0), TEMP 3 (35.1), and TEMP 4 (46.8).
  - Pressure, atm:** Shows a value of 1.486.
- Fans (current), mA:** Shows 'High speed' values of 156 and 144.
- Temperature thresholds for FANS and power control, °C:** Includes checkboxes for 'Disable power control' and 'Disable auto FAN control', and a table of thresholds for Power Off, Fan Low, and Fan High for TEMP1, TEMP2, and TEMP3.

Окно **Oscilloscope** позволяет просмотреть осциллограммы с любой выбранной полосы, а также проконтролировать величины «пьедесталов» всех аналоговых каналов и, при необходимости, подстроить их. Для этого на корпусе детектора имеются элементы регулировки.



Окно **Amplitude** используется для настройки коэффициентов усиления аналоговых каналов. На корпусе детектора имеется разъем, на который выдается тестовый сигнал. Через специальный пробник этот тестовый сигнал можно подать на вход усилителя любого канала и проконтролировать амплитуду на выходе. При необходимости коэффициенты усиления можно подстроить, для этого на корпусе детектора имеются элементы регулировки.

