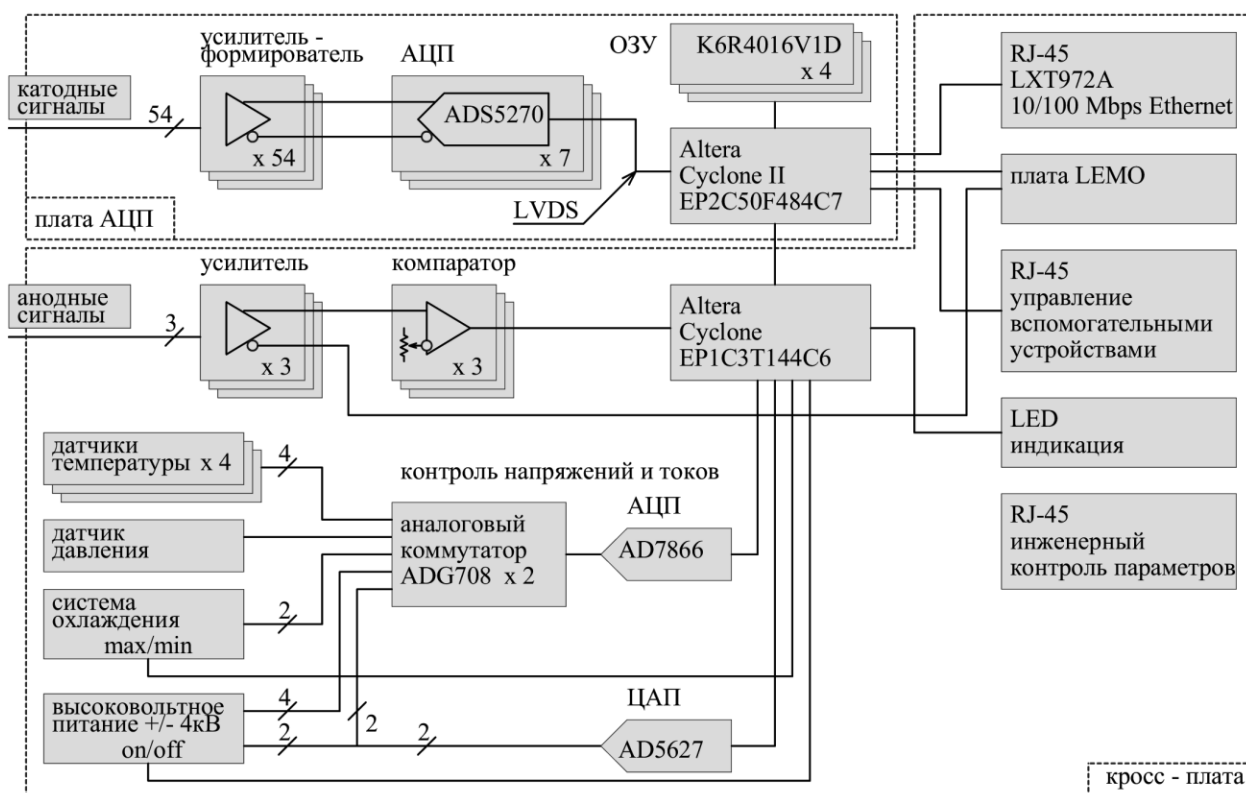


## Приложение 1

### 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 ЦАП **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.

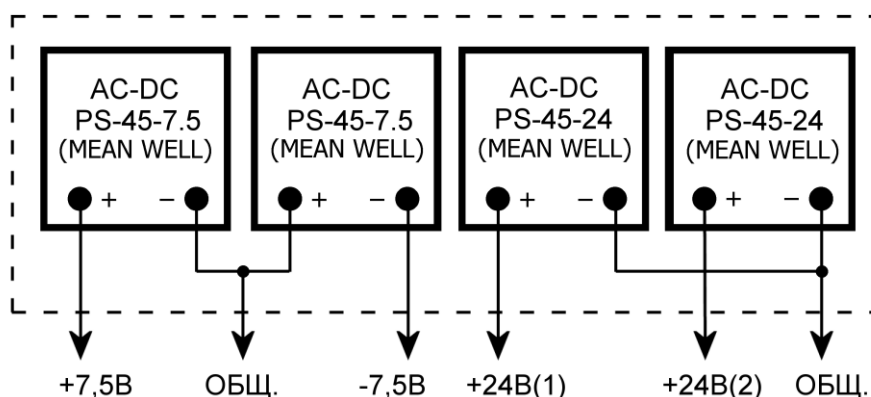


Рисунок 1. Внешний блок питания

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

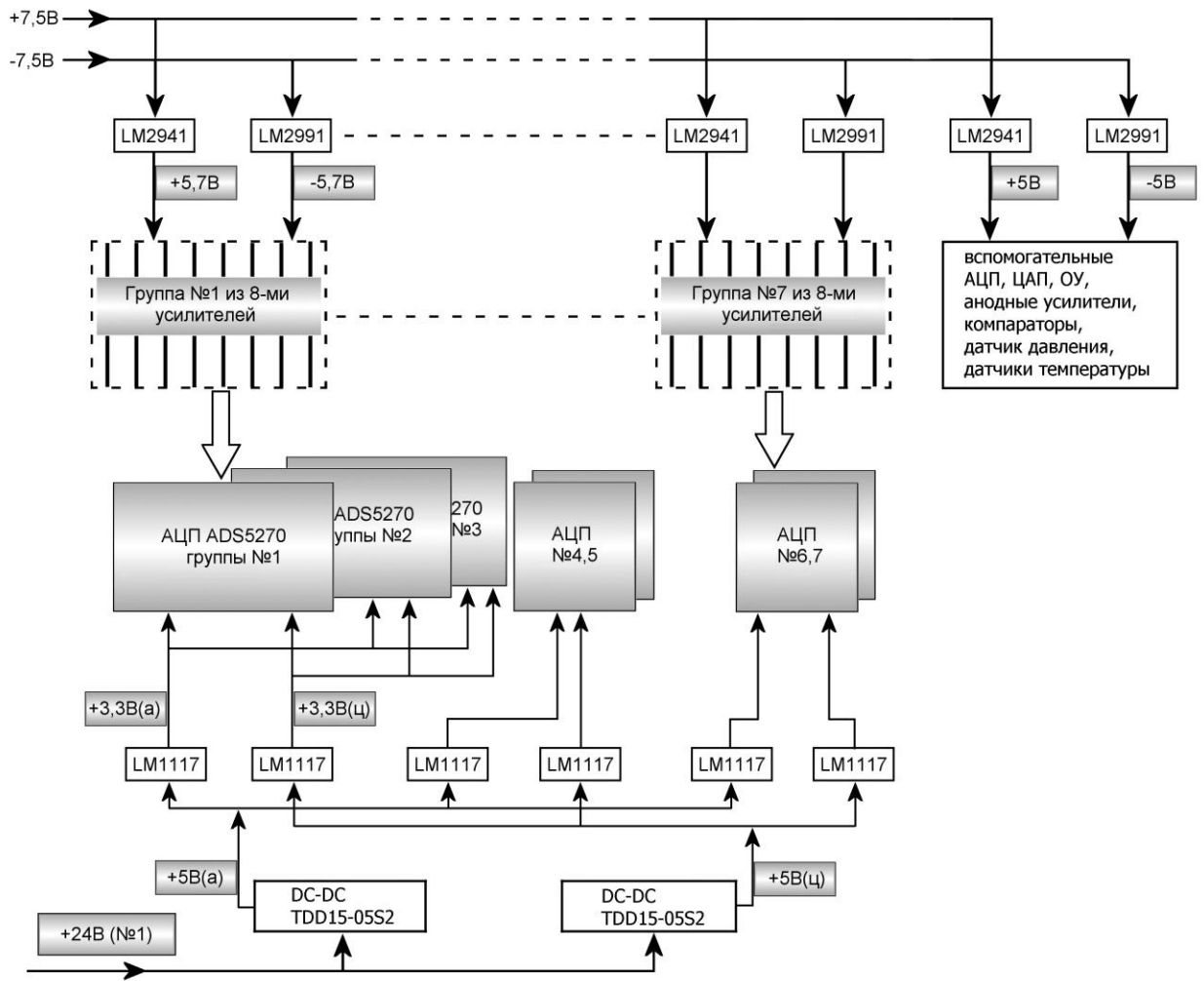


Рисунок 2. Питание плат усилителей, АЦП и вспомогательной электроники.

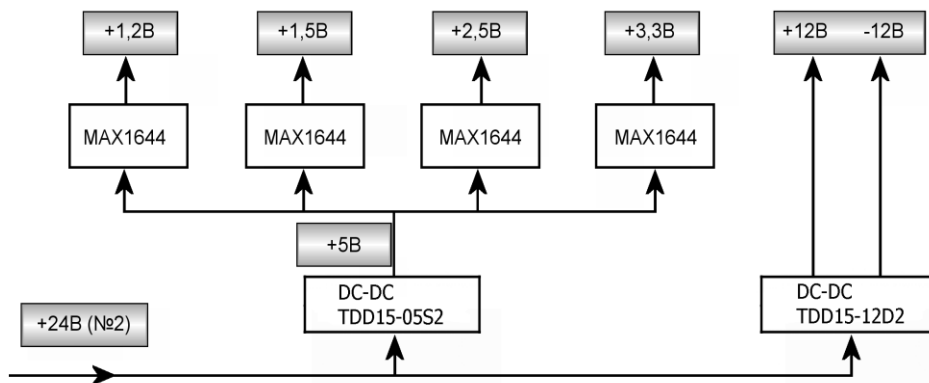
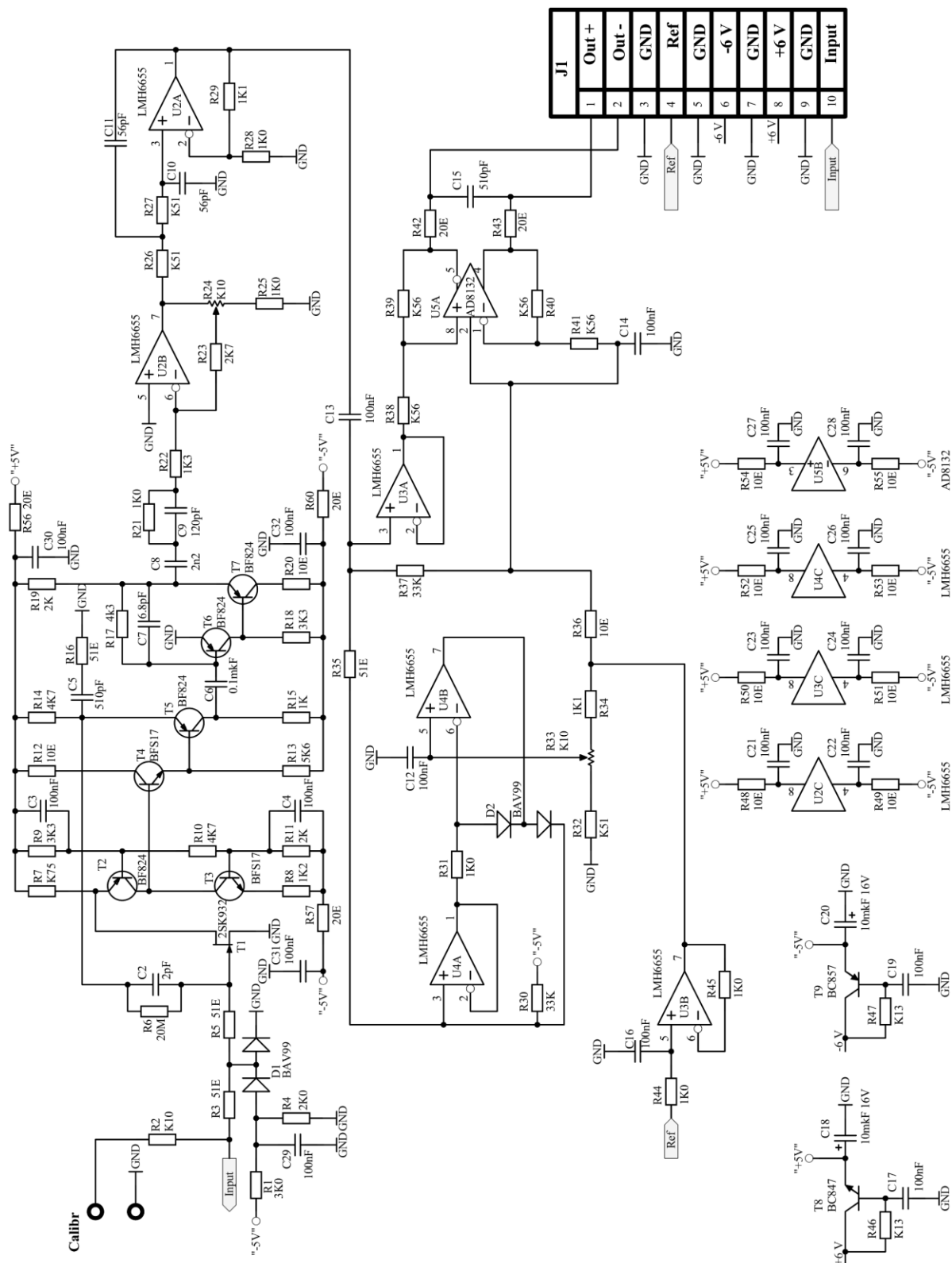


Рисунок 3. Питание ПЛИС ALTERA, ОЗУ, ETHERNET, высоковольтных источников напряжения и системы вентиляции.

## 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  $\mathbf{H1} \leq Y_m^n \leq \mathbf{H2}$  .

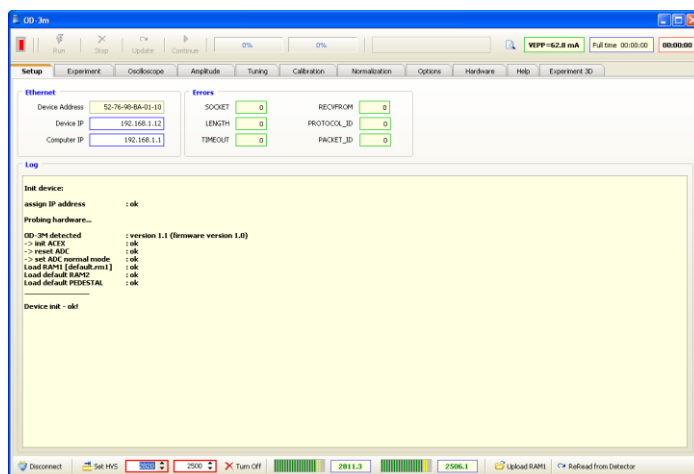
## Приложение 5

### 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.



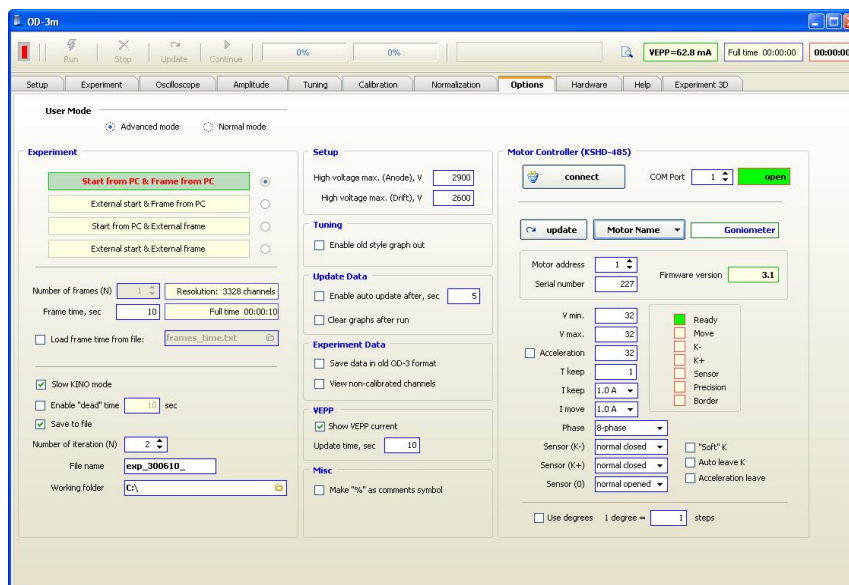
Имеется индикация реальных значений установившихся напряжений.

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

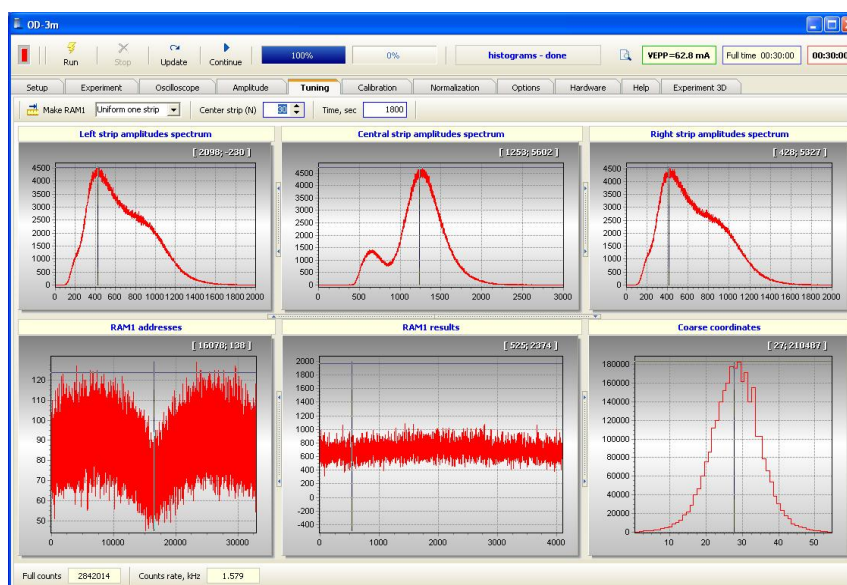
Набор доступных окон зависит от выбранного режима (**Normal / Advanced**), который задается в окне **Options**.

**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.

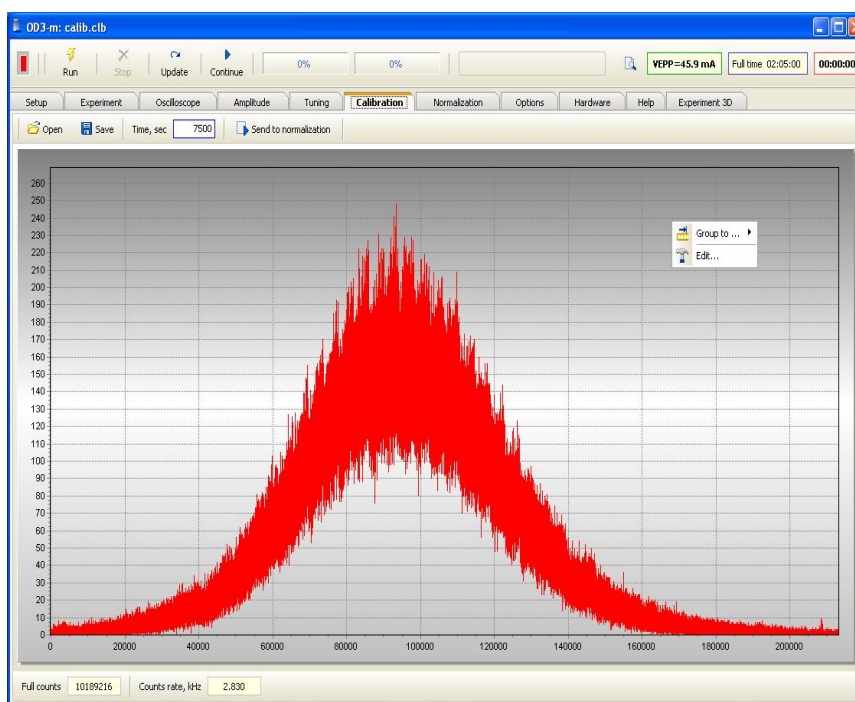
В окне **Options** производится выбор режима, задаются параметры, непосредственно относящиеся к эксперименту: число и длительность кадров «Кино», способ синхронизации запуска эксперимента и «Кино», параметры отображения информации в ходе накопления данных.



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.

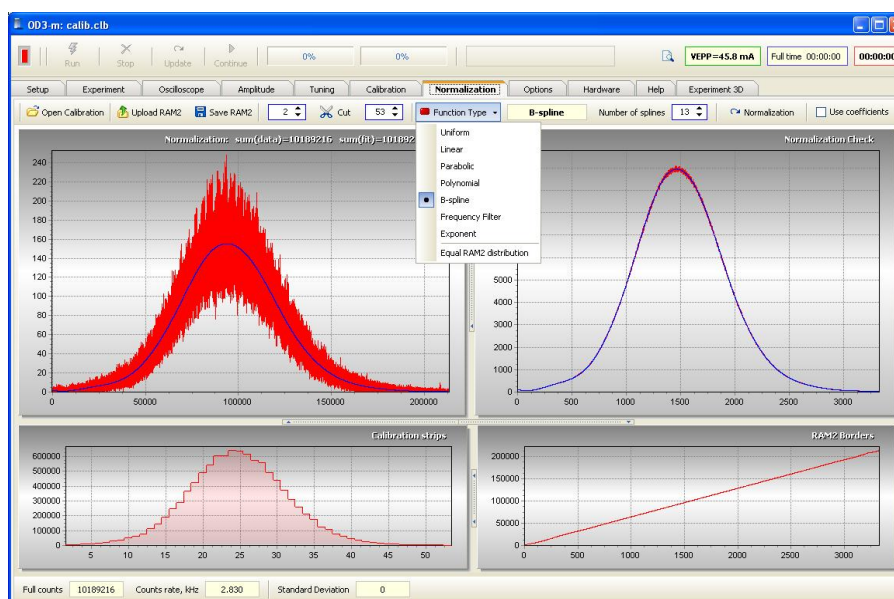


Окно **Calibration** используется для набора гистограммы калибровки RAM2. Гистограмма набирается по всему детектору в единицах микроканалов.

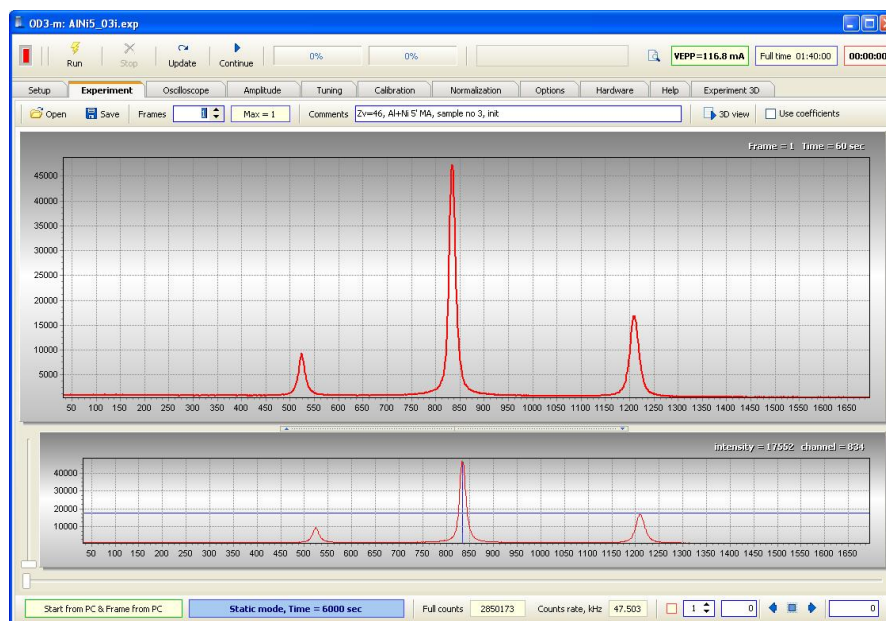


После набора желаемой статистики гистограмму можно запомнить в файле **xxx.clb** и переслать в окно **Normalization** для последующей обработки.

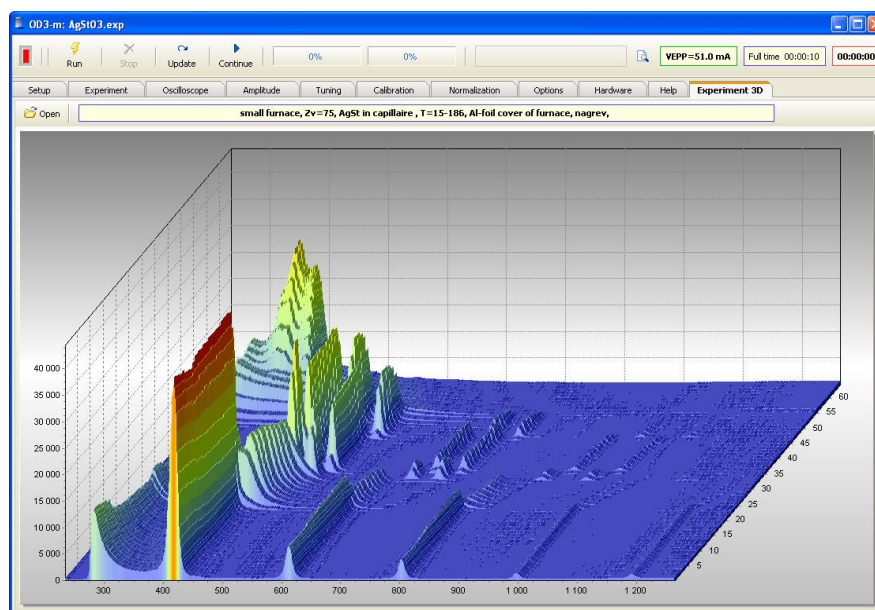
Меню окна **Normalization** дает широкие возможности для обработки гистограммы калибровки. Здесь можно выбрать вид функции аппроксимации, рассчитать таблицу RAM2 и проконтролировать результат, сохранить таблицу в файле **xxx.rm2**, загрузить в детектор нужную таблицу.



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.

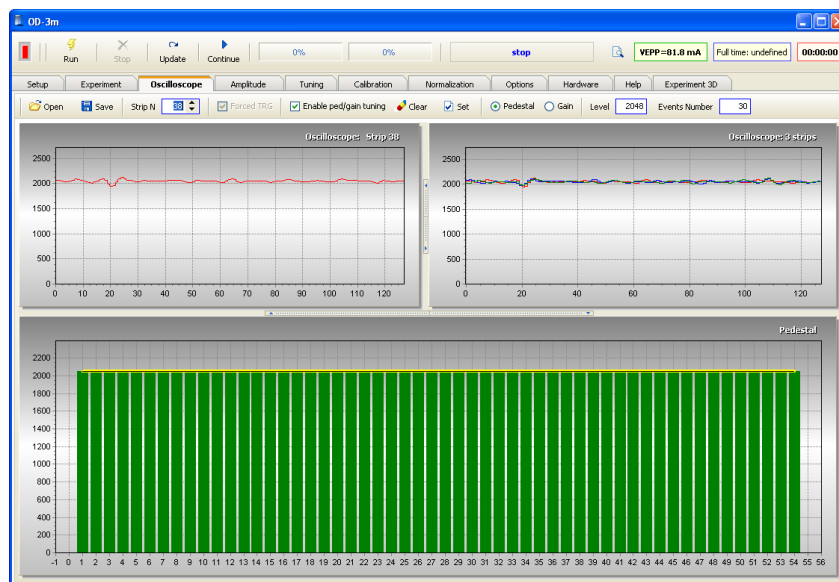
В окне отображаются показания 4-х температурных датчиков и датчика давления, загрузки по 3-м группам анодных проволок и много другой полезной информации.

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

- Trigger Mask:** A grid of checkboxes for selecting strips (15-01, 31-16, 47-32, 54-48) with associated hex codes (FFFC, FFFF, FFFF, 3F).
- Thresholds:** A list of thresholds (THR0 to THR4) with values: -2048, 1000, 8000, 4000, 200.
- Write/Read Registers:** Controls for writing to and reading from a register (FFF0).
- Oscilloscope:** A checkbox for 'View ADC data' and a 'Start sample' field set to 16.
- Hardware Monitoring:**
  - Enable monitoring:** Checked, with an update time of 500 ms.
  - Simple trigger counts:** 3090328.
  - HVS monitoring:** Displays settings for HV+ (Anode) and HV- (Drift) in code and voltage, and current 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' with values 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 each of the four temperature sensors.



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.

