

Автоматизированный комплекс баллистических измерений

В статье рассматривается состав, назначение, алгоритм работы автоматизированного комплекса баллистических измерений.

Автоматизированный комплекс баллистических измерений (АКБИ), в дальнейшем – комплекс, разработан в Центральном научно-исследовательском институте вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины и предназначается для измерения скорости движения снарядов (мин, пуль) внутри ствола и на участках траектории полета, а также для проведения бесконтактных исследований колебаний (вибраций) ствола во время производства выстрела.

Комплекс обеспечивает цифровую запись и хранение информации, поступающей от радиолокационных датчиков, ее обработку и индикацию результатов обработки на экране монитора.

Применение в составе комплекса электронно-вычислительной машины с аналого-цифровым преобразователем на входе обеспечивает быструю смену программного обеспечения, высокую точность и скорость измерений, применение, при необходимости, других типов датчиков.

УСТРОЙСТВО И РАБОТА КОМПЛЕКСА

Комплекс конструктивно выполнен в виде нескольких функционально законченных блоков (см. рис. 1).

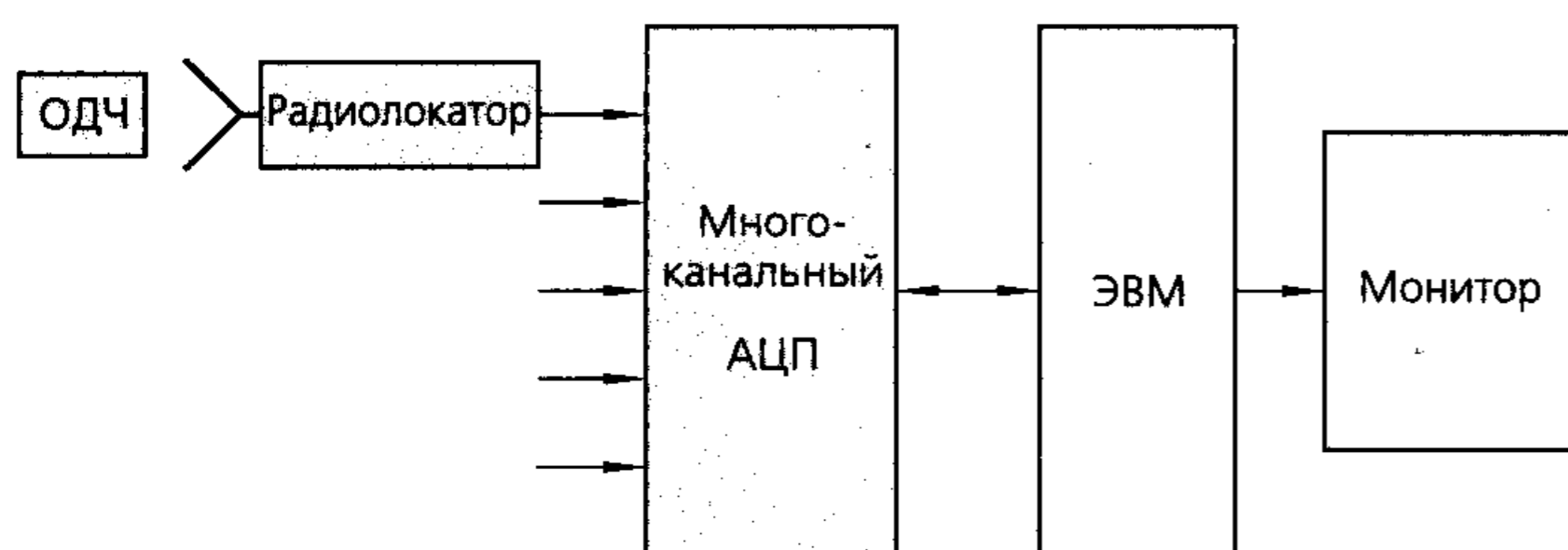


Рис. 1. Устройство комплекса

В состав комплекса входят:

- радиолокационный датчик;
- электронно-вычислительная машина (ЭВМ);
- многоканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- видеомонитор;
- соединительные кабели;
- образцовый датчик частоты (ОДЧ) – камертон;
- программное обеспечение ЭВМ.

Рабочие условия эксплуатации:

- температура для радиолокационных датчиков -30...+50°C;
- температура для ЭВМ -15...+50°C;
- относительная влажность до 98% при +30°C;
- атмосферное давление 61, 3...104 кПа (460...780 мм рт. ст.).

Технические характеристики:

- Питание от сети переменного тока 220±10 В, 50 Гц;
- Калибр исследуемых снарядов, мин, пуль от 1 мм;
- Диапазон измеряемых линейных скоростей 0.1...2000 м/с;
- Погрешность измерения скорости не более 0,1 м/с;
- Максимальное время непрерывной записи сигнала 20 с;
- Время непрерывной работы 8 часов;
- Время прогрева, не более 5 мин.

Радиолокационный датчик:

- дальность действия (в зависимости от калибра снаряда, пули) до 50 м;
- ширина диаграммы направленности антенны по уровню половинной мощности (в зависимости от типа радиолокационного датчика) 6-16 градусов.

Аналого-цифровой преобразователь:

- количество входных каналов АЦП 16.

Цифровая часть комплекса, предназначенная для обработки информации, поступающей от радиолокатора, включает ЭВМ и многоканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП). По сравнению с аналоговыми, цифровые устройства обладают рядом существенных достоинств, главные из которых:

- автоматизация процесса документирования входной информации и привязки ее по времени;
- практически неограниченные возможности запоминания входной информации;
- возможность обеспечения более высокой точности измерения параметров исследуемых процессов;
- отсутствие необходимости настройки (после отладки программ все введенные в ЭВМ математические зависимости и величины неограниченно долго сохраняют свои значения без изменений, а расчеты по ним ведутся с требуемой точностью);
- возможность адаптации структуры и параметров АЦП и ЭВМ к изменяющимся условиям измерений;
- практически неограниченные возможности по подключению к АЦП всех известных типов аналоговых датчиков;
- простота сопряжения АЦП с ЭВМ.

Основным элементом комплекса является ПЭВМ с установленной в ней платой многоканального аналого-цифрового преобразователя. На вход АЦП по экранированному двухжильному кабелю подаются сигналы от радиолокационных датчиков.

Вычислительная машина оснащается программным обеспечением, позволяющим осуществлять запись сигналов, поступающих от радиолокационных датчиков, обеспечить визуальный контроль записанных сигналов, проводить их обработку и оценку параметров, контролировать частоту квантования АЦП. Вся необходимая для работы информация выводится на экране монитора.

Многоканальный АЦП позволяет подключать к ЭВМ до 16 различных внешних датчиков, таких как радиолокационные, инфракрасные, акустические, индукционные, временные датчики, датчики температуры и т.п.

Радиолокационные датчики являются функционально законченными блоками с автономными источниками электропитания 220 В, 50 Гц, обеспечивающие дистанционное, бесконтактное измерение скоростей объектов.

Принцип работы радиолокационного датчика основан на эффекте Доплера.

Как известно, если неподвижный объект облучается неподвижным радиолокатором, то частота колебаний сигнала, отраженного от этого объекта и принятого радиолокатором $f_{пр}$, равна частоте колебаний излученного радиолокатором сигнала f_0 :

$$f_{пр} = f_0, \quad (1)$$

где f_0 – частота излучаемого сигнала, Гц.

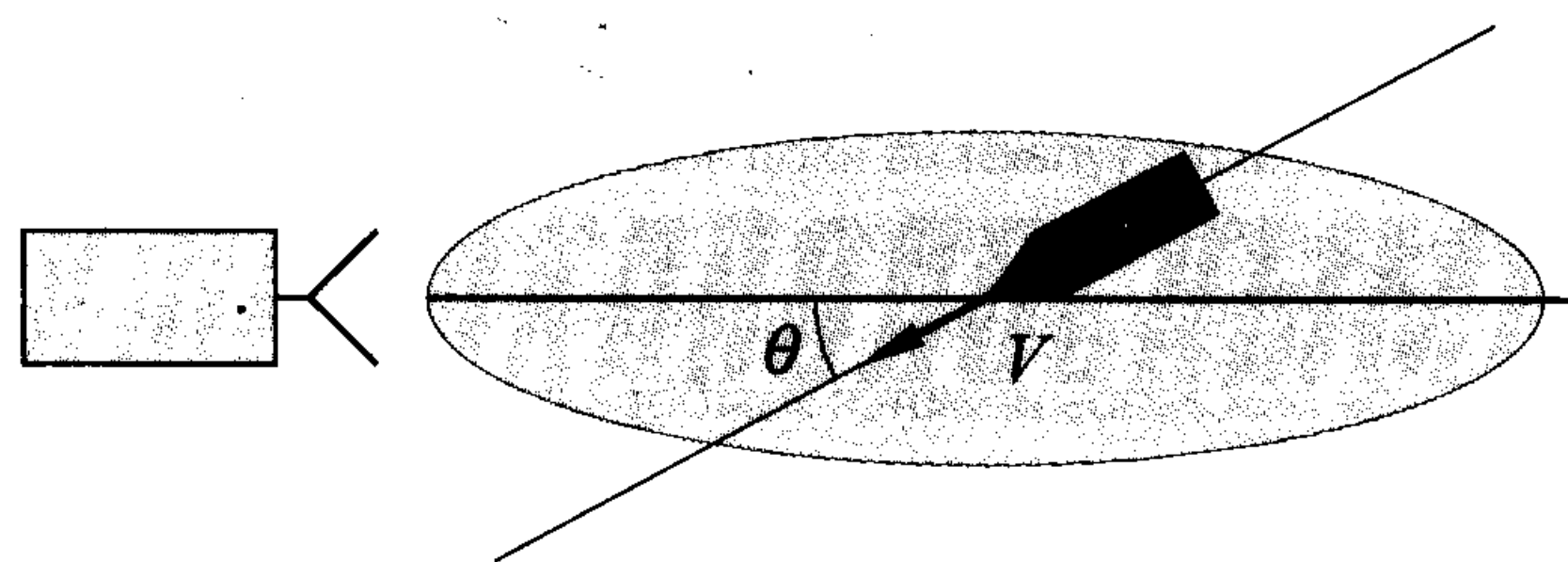


Рис. 2. Движение объекта в луче радиолокационного датчика

При движении объекта в луче антенны неподвижного радиолокатора (рис. 2), частота колебаний сигнала, отраженного от объекта, отличается от частоты колебаний излученного радиолокатором сигнала. При этом частота принимаемого сигнала будет равна:

$$f_{пр} = f_0 \pm F_d, \quad (2)$$

где F_d – изменение частоты излучаемого сигнала за счет эффекта Доплера, Гц, которое вычисляется по формуле:

$$F_d = \frac{2V}{\lambda} \cos \theta, \quad (3)$$

где V – скорость объекта, м/с;

λ – длина волны излучаемого сигнала, м;

θ – угол между направлением движения объекта и направлением на радиолокационный датчик, град.

Знак «плюс» в формуле (2) соответствует случаю, когда объект приближается, знак «минус» – когда объект удаляется.

Таким образом, измеряя частоту колебаний, поступающих в ЭВМ с выхода радиолокационного датчика, можно определить скорость движения снаряда с помощью выражения:

$$V = \frac{F_d \lambda}{2 \cos \theta}, \quad (4)$$

Из формулы (3) видно, что если угол между направлением движения объекта и направлением на радиолокационный датчик (θ) равен нулю (объект движется в луче радиолокатора, по электрической оси антенны), то при неизменной длине волны излучаемого сигнала доплеровское приращение частоты принимаемого сигнала пропорционально только скорости объекта.

Если угол между направлением движения объекта и направлением на радиолокационный датчик не равен нулю, то объект пересекает луч радиолокационного датчика. В этом случае доплеровское приращение частоты пропорционально скорости объекта и углу между направлением движения объекта и направлением на радиолокационный датчик.

Цифровая часть комплекса работает в двух режимах:

- «Осциллограф»;
- «Измеритель скорости».

В режиме «Осциллограф» сигналы от радиолокационного датчика поступают на вход аналого-цифрового преобразователя. Аналого-цифровой преобразователь преобразует аналоговые сигналы в цифровой код и передает в ЭВМ, где они запоминаются и отображаются на экране монитора в виде аналогового сигнала.

В режиме «Измеритель скорости» производится быстрое преобразование Фурье сигнала, записанного ранее в память компьютера. При этом определяется частота сигнала и далее по выражению (4) автоматически вычисляется скорость объекта. Запись сигналов одиночных выстрелов и очередей производится с синхронизацией и без синхронизации момента выстрела.

Основным и наиболее простым способом записи является режим записи без синхронизации. В этом случае запись информации с выхода радиолокатора в ЭВМ осуществляется непрерывно и продолжается в течение некоторого времени, которое определяет оператор. Продолжительность записи может достигать нескольких десятков секунд. В этот промежуток времени должен быть произведен выстрел (выстрелы).

При проведении стрельбы с синхронизацией выстрела на один из свободных входов АЦП необходимо подать сигнал, соответствующий моменту нажатия на спусковой крючок (нажатию кнопки электроспуска и т.п.). При появлении такого сигнала ЭВМ производит подключение радиолокационного датчика к входу АЦП, при необходимости осуществляет задержку начала записи сигнала на требуемое время и затем приступает к его записи в оперативную память. Этот процесс осуществляется автоматически с использованием специальной программы.

Записанная в оперативную память ЭВМ информация переписывается на жесткий магнитный диск, где она хранится в виде файла данных с назначенным именем. В целях удобства при дальнейшем использовании этой информации в файл данных автоматически заносятся дата, время, условия проведения испытаний, тип боеприпаса и т.п.

Анализ записанных сигналов осуществляется программой цифрового спектроанализатора, реализованного на базе алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ). Полоса пропускания каждого цифрового фильтра равна:

$$\Delta F = F_{\text{дискр.}} / N, \quad (5)$$

где $F_{\text{дискр.}}$ – частота дискретизации входного сигнала.

На рис. 3 представлен вид экрана монитора при работе комплекса в режиме «осциллограф», а на рис. 4 – в режиме «измеритель скорости».

Частота дискретизации преобразования АЦП контролируется в ЭВМ с помощью специальной программы. В установленном в комплекс АЦП частота дискретизации сигнала $F_{\text{дискр.}}$ составляет 333000 Гц что позволяет проводить запись сигналов в полосе частот 0...165000 Гц.

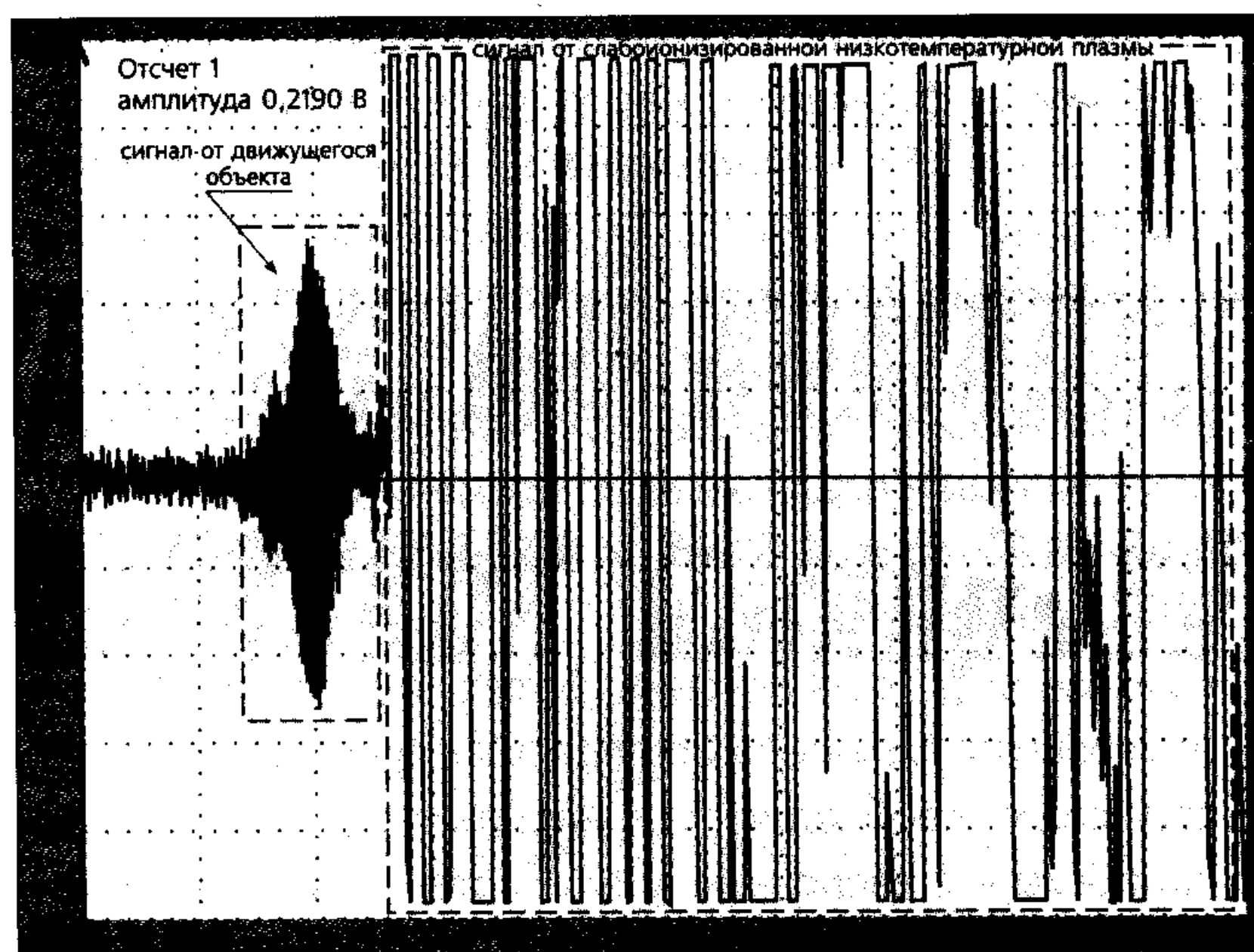


Рис. 3 Вид сигнала при работе комплекса в режиме «осциллограф»

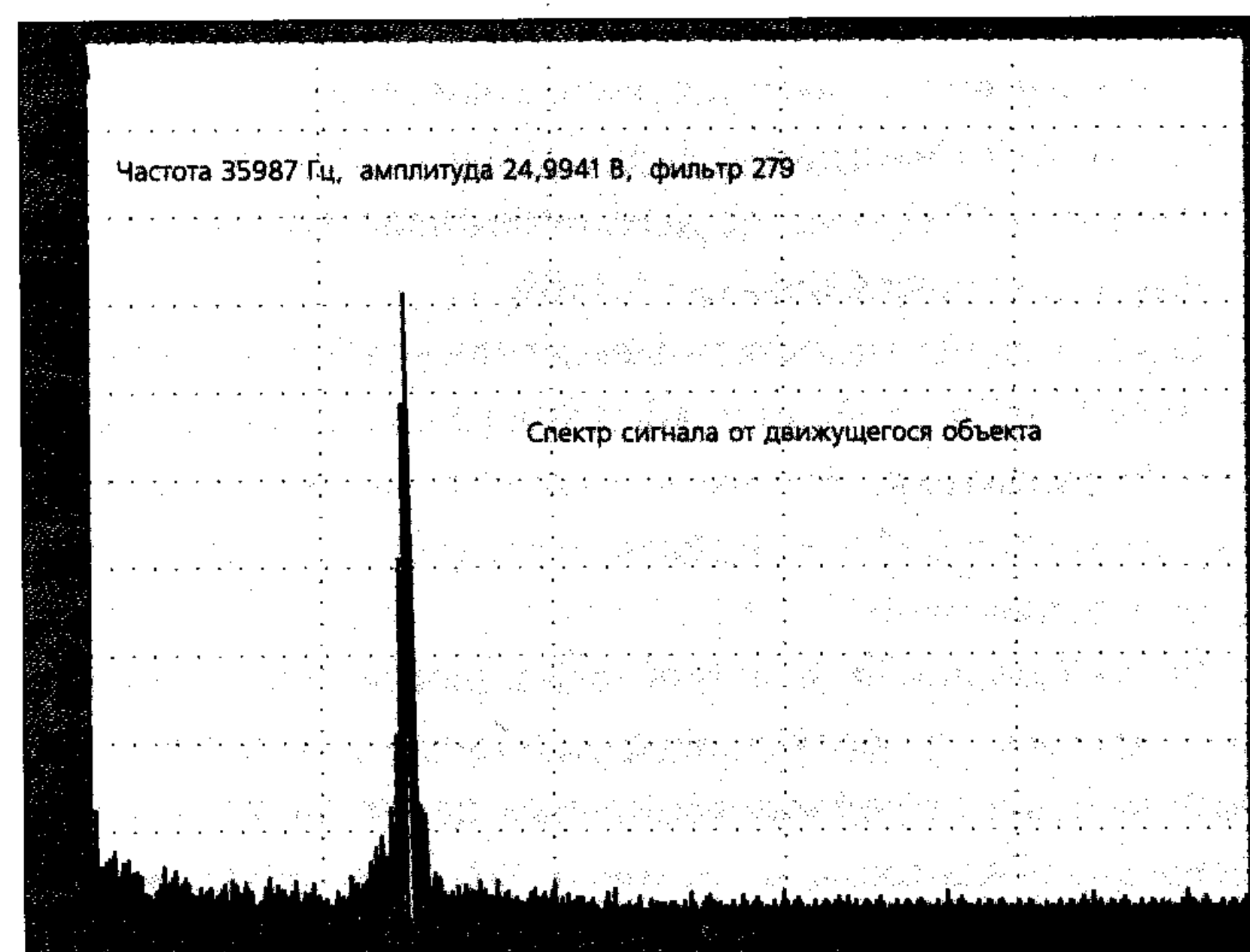


Рис. 4 Вид монитора при работе комплекса в режиме «измеритель скорости»

Программа быстрого преобразования Фурье обеспечивает предварительную оценку скорости с точностью 1-2,5 м/с, так как обработка осуществляется ограниченным количеством фильтров (2048). Для точного измерения частоты принятого сигнала применяется специальная подпрограмма, реализующая режим скользящего цифрового фильтра, обеспечивающая измерение скорости с точностью не менее 0,1 м/с. По измеренному значению частоты определяется точное значение скорости снаряда.

Автоматизированный комплекс баллистических измерений может применяться в полевых условиях, в тирах, при проведении криминалистических исследований.

Эксплуатационные характеристики комплекса подтвердились на протяжении 1997-2000 годов при проведении испытаний стрелкового оружия и артиллерийских систем. В течение этого срока комплекс показал высокую надежность, точность и удобство в эксплуатации.