

## ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ БИБЛИОТЕК АЦП L-CARD E-502 ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В СРЕДЕ MATLAB

*Мацак И.С., к.т.н., в.н.с. ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва», e-mail: ismatsak@mail.ru;*

*Капранов В.В., инженер ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва»*  
*Воропаев Р.А., инженер ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва»*

### THE PRACTICE OF USING OF ADC L-CARD E-502 DYNAMIC LIBRARIES FOR AUTOMATED TESTING IN MATLAB

*Matsak I.S., Kapranov V.V., Voropaev R.A.*

*The solution of the problem of integration ADC L-card E-502 to MATLAB environment using dynamic libraries. Matlab script performing the cycle data acquisition from analog channels of ADC and source of Matlab subfunctions used in script are provided.*

**Key words:** automated testing, L-card E-502, dynamic libraries, MATLAB, C-shared libraries, loadlibrary.

**Ключевые слова:** automated testing, L-card E-502, dynamic libraries, MATLAB, C-shared libraries, loadlibrary.

#### Введение

Настоящая работа посвящена вопросам интеграции динамических библиотек АЦП E-502 в Matlab. Представленные результаты позволяют расширить возможности построения измерительных систем на основе связки Matlab / АЦП E-502 и могут быть использованы в прикладных и исследовательских работах.

Программная среда Matlab имеет широкие возможности для взаимодействия с периферийным оборудованием [1], которые могут быть использованы для автоматизации научных экспериментов и создания измерительных систем для решения ряда прикладных задач. Взаимодействие может быть реализовано напрямую с помощью универсальной библиотеки для измерительного оборудования VISA (Virtual Instrument Software Architecture) или в совокупности с инструментальными драйверами IVI (Interchangeable Virtual Instrument) [2]. Расширение возможностей получения данных и управления периферией может быть достигнуто при помощи средств Instrument Control Toolbox [3]. Однако, перечень производителей измерительного оборудования, поддерживающего такой способ взаимодействия, ограничен, и этот подход не может в полной мере считаться универсальным. В частности, построение измерительной системы на основе АЦП E-502 производства «Л Кард» [4] с обработкой данных в среде Matlab не может быть реализовано с помощью описанных выше способов. Поэтому в ряде работ отдается предпочтение написанию кода на Python, например [5]. Хотя для некоторых моделей крейтов «Л-Кард» (например, LTR-EU-2-2) возможна настройка подключения с применением технологии OPC (Open Platform Communications) [6, 7], основной возможностью интеграции в измерительную систему на основе Matlab АЦП L-card E-502 является подключение Matlab к динамическим библиотекам, поставляемым

*Представлено решение задачи по интеграции АЦП L-card E-502 в среду MATLAB с помощью подключения динамических библиотек. Приведены скрипт Matlab, осуществляющий циклический сбор данных с аналоговых каналов АЦП, и исходные коды подфункций, используемых в скрипте.*

в комплекте с оборудованием [8]. Несмотря на некоторую сложность такого подхода, он может быть успешно реализован для выбранной модели АЦП и применен на практике.

При выборе Matlab в качестве среды для обработки и анализа данных отсутствие интеграции с измерительным оборудованием вынуждает проводить операции с измерительной информацией в несколько этапов, использовать набор программных средств разных производителей, экспортировать и импортировать данные, обеспечивать совместимость формата данных, что значительно усложняет проведение экспериментальных исследований. В качестве примеров научных исследований прикладного характера, где такой подход был использован, могут служить работы [9, 10].

Создание универсального скрипта для работы в среде MATLAB АЦП E-502 может быть интересно широкому кругу исследователей, занимающихся экспериментальной деятельностью и автоматизацией экспериментов. На основе рассматриваемого скрипта могут быть написаны функции и программы, выполняющий циклический сбор данных, а описанные принципы расширить функциональность программ до необходимого уровня, и задействовать цифровые каналы, а также выходы ЦАП.

#### Настройка Matlab для взаимодействия с АЦП

Работа с динамическими библиотеками в Matlab требует установки драйвера устройства, самих библиотек и компилятора. Для установки библиотек e502api и x502api и драйвера АЦП E-502 был использован стандартный установщик от производителя АЦП [11]. Установка MinGW compiler осуществлялась с помощью инструмента «Add-Ons» на вкладке «Home» интерфейса Matlab [12]. При

Таблица 1. Пример заполнения файла E502\_CONFIG.xlsx для конфигурации аналоговых каналов АЦП E-502

Логический канал	Физический канал	Режим измерения	Диапазон измерения	Усреднение	Использование
0	0	1	5	36	1
1	1	1	0	36	1
2	2	2	1	36	1
3	3	2	2	36	1
4	4	0	3	36	1

использовании версии Matlab 2017a и ранее следует обратиться к видеонструкции [13], и перед установкой MinGW скопировать папки bin и bugreport, расположенные в прикрепленном архиве [14], в директорию установки Matlab.

#### Алгоритм сбора данных с аналоговых каналов АЦП

Типичный алгоритм для организации синхронного получения данных с выбранных аналоговых каналов АЦП согласно [15] имеет основные следующие шаги:

- X502\_StreamsEnable() – разрешение нужных синхронных потоков;
  - X502\_StreamsStart() – запуск синхронных потоков;
  - X502\_Recv() – чтение принятых данных из модуля;
  - X502\_ProcessAdcData() – обработка прочитанных данных;
  - X502\_StreamsStop() – останов синхронных потоков.
- Реализация этого алгоритма в среде Matlab рассмотрена авторами ниже.

#### Конфигурация каналов

Конфигурация каналов АЦП осуществляется путем задания значений параметров канала в отдельном файле E502\_CONFIG.xlsx, который помещается в директорию с основным скриптом циклического сбора данных E502\_CYCLE\_IN. В данной работе эта директория задана как C:\MATLAB. Пример конфигурации приведен в табл. 1. Задание логических и физических каналов, диапазонов и режимов измерения, параметров усреднения выполняется в соответствии с [15, с. 31, с. 34, с.53].

#### Реализация модулей скрипта

Для получения данных с АЦП в Matlab необходимо прописать 12 основных подфункций и скриптов, которым будет обращаться основной скрипт внутри себя. При этом загрузка библиотек с помощью скрипта load502api может быть проведена еще до запуска основного скрипта, и, в таком случае, исключена из него.

Подключение и вызов функций динамических библиотек производится с помощью набора функций и методов Matlab [16]: loadlibrary, calllib и libpointer. Дополнительные функции – libfunctions и libfunctionsview – позволяют корректно задавать переменные функций библиотек. Для правильной работы скрипта должны быть прописаны следующие основные функции:

- загрузка библиотек:

```
function load502api
    %Добавление в перечень директорию с
    программами и скриптами Matlab
    addpath('C:\MATLAB');
    %Добавление в перечень директорию с
    библиотеками e502api и x502api;
    addpath('C:\Program Files (x86)\L-
    Card\lpcie\include');
    %Отключение сообщений о потенциаль-
    ных конфликтах
    warning('off','all');
    %Загрузка библиотек e502api и x502api
    if not(libisloaded('x502api'))
        loadlibrary('x502api')
    end
    if not(libisloaded('e502api'))
        loadlibrary('e502api')
    end

    %Проверка успешности загрузки библиотек
    может осуществляться с помощью функции
    libisloaded.
```

- открытие порта:

```
function E502_OpenUsb
    err =
    calllib('e502api','E502_OpenUsb', hnd,
    card_serial);
    if err ~= 0
        s =
    calllib('x502api','X502_GetErrorString',
    err);
        fprintf('Ошибка %1$d функции
    E502_OpenUsb: %2$s \n', err, s)
    end
end

%Dля контроля корректности работы под-
    функций каждые скрипт и функция снабжа-
    ются стандартным блоком сообщения об
    ошибках, общий вид которого:

    if err ~= 0 % или в некоторых случаях
    err < 0
        s =
    calllib('x502api','X502_GetErrorString',
    err);
        fprintf('Ошибка %1$d функции
    (Имя функции) : %2$s \n', err, s)
    end
```

%В следующих скриптах эти блоки будут опущены ввиду своей однотипности, однако в исходном алгоритме [17] они сохранены.

- закрытие порта:

```
function X502_Close
    err = calllib('x502api',
```

```
'X502_Close', hnd);
end
```

– освобождение описателя:

```
function X502_Free
    err = calllib('x502api', 'X502_Free',
hnd);
end
```

– конфигурация АЦП:

```
function X502_Configure
    err =
calllib('x502api', 'X502_Configure', hnd,
0);
end
```

– задание количества каналов:

```
function X502_SetLChannelCount
    err =
calllib('x502api', 'X502_SetLChannelCount'
, hnd, nk);
end
```

– разрешение потока:

```
function X502_StreamsEnable
    err =
calllib('x502api', 'X502_StreamsEnable',
hnd, 1);
end
```

– запуск потока:

```
function X502_StreamsStart
    err =
calllib('x502api', 'X502_StreamsStart',
hnd);
end
```

– останов потока:

```
function X502_StreamsStop
    err =
calllib('x502api', 'X502_StreamsStop',
hnd);
end
```

– обработка полученных данных:

```
function X502_ProcessAdcData
    err =
calllib('x502api', 'X502_ProcessAdcData',
hnd, rcv_buf, adc_data, rcv_size, 1);
end
```

– получение данных обработанных каналов:

```
function X502_GetRecvReadyCount
    a = 1;
    rdy_cnt = libpointer('uint32Ptr', a);
    ots =
calllib('x502api', 'X502_GetRecvReadyCount'
, hnd, rdy_cnt);
    rdy_cnt.Value;
end
```

– конфигурация каналов:

```
function SetLChannel(lch, phy_ch, mode,
range, avg)
    err =
calllib('x502api', 'X502_SetLChannel',
hnd, lch, phy_ch, mode, range, avg);
end
```

## Скрипт циклического опроса аналоговых каналов АЦП

Скрипт E502\_CYCLE\_IN непрерывно выводит значения в вольтах с АЦП, пока не будет нажата клавиша 'q' на клавиатуре [17]. Конфигурация каналов АЦП производится с помощью таблицы E502\_CONFIG.xlsx. Каждый выводимый скриптом столбец соответствует значению напряжения на логическом канале АЦП в порядке возрастания номеров.

```
function E502_CYCLE_IN
% Определение директорий, загрузка библиотек, указание серийного номера АЦП
load502api;
% Создание описателя модуля
hnd = calllib('x502api', 'X502_Create');
if class(hnd) ~= 'lib.pointer'
fprintf('Ошибка создания описателя модуля')
end
% Открытие порта
E502_OpenUsb;
% Считывание таблицы с установками каналов:
M = readmatrix('E502_CONFIG.xlsx', 'Range', 'B3:G18');
% Выделение каналов, отмеченных как используемые
R=M(M(:,6)>0,1:5);
% Определение количество используемых каналов:
nk = height(R);
% Задание количества этого числа каналов АЦП:
X502_SetLChannelCount;
% Конфигурация АЦП в соответствии с таблицей E502_CONFIG.xlsx
for ii = 1:nk
    SetLChannel(R(ii,1), R(ii,2), R(ii,3), R(ii,4), R(ii,5));
end
%Задание частоты АЦП, частоты кадров и количества значений в блоке
Fadc = 100; Faf = 5; nb = 1;
%Расчет таймаута приема блока (мс)
READ_TIMEOUT =1000/Faf*nb;
%Установка частот АЦП с помощью указателей
Fadc = libpointer('doublePtr',Fadc); Faf = libpointer('doublePtr',Faf);
calllib('x502api', 'X502_SetAdcFreq', hnd, Fadc, Faf);
%Конфигурация АЦП
X502_Configure;
%Определение количества отсчетов за блок и создание
READ_BLOCK_SIZE
=nk*int32(Faf.Value*READ_TIMEOUT/1000);
buf = ones(1,READ_BLOCK_SIZE);
rcv_buf = libpointer('uint32Ptr',buf);
data = ones(1,READ_BLOCK_SIZE);
adc_data = libpointer('doublePtr',data);
%Разрешение потока от АЦП
X502_StreamsEnable;
%Запуск потока от АЦП
X502_StreamsStart;
% Создание бесконечного цикла считывание, прерываемого нажатием клавиши 'q', который был сделан на основе [17]
hf=figure('position',[0 0 eps eps], 'menubar', 'none');
while 1
```

```

%Получение данных (по таймауту)
rcv_size =
calllib('x502api','X502_Recv', hnd, rcv_buf,
READ_BLOCK_SIZE, READ_TIMEOUT);
rcv_buf.Value;
% Обработка сырые данные от аналоговых
входов и пересчитываем в вольты
X502_ProcessAdcData;
%ВЫВОД ДАННЫХ
A = adc_data.Value;
% Разбираем массив данных (каждый
столбец - данные с одного канала)
% Очередность логических каналов согл-
сано таблице от 0 до последнего
B = reshape(A, [nk,
READ_BLOCK_SIZE/nk]');
% Отображение данных
disp(B)
% Условие выхода из цикла (нажатие
'q')
if
strcmp(get(hf, 'currentcharacter'), 'q')
close(hf)
break
end
figure(hf)
drawnow
end
%=====
%Останов потока данных
X502_StreamsStop;
%Закрытие порта
X502_Close;
% Освобождение указателя
X502_Free;
% =====
% Подфункции
function load502api
function E502_OpenUsb
function X502_Close
function X502_Free
function X502_Configure
function X502_SetLChannelCount
function X502_StreamsEnable
function X502_StreamsStart
function X502_StreamsStop
function X502_ProcessAdcData
function X502_GetRecvReadyCount
function SetLChannel(lch, phy_ch, mode,
range, avg)
end

```

## Заключение

В работе предложен способ подключения к АЦП L-card E-502 к среде расчетов MATLAB и подробно рассмотрена техническая реализация этого способа, что упрощает создание информационно-измерительных систем и обеспечивает возможность автоматизации физических экспериментов. Решение позволяет получать и обрабатывать данные с одной среде, в полной мере используя преимущества и простоту языка программирования Matlab для ускорения проведения исследовательских и прикладных работ. Исходный код функции на языке Matlab E502\_CYCLE\_IN.m и файл EXCEL для конфигурации АЦП E502\_CONFIG.xlsx рас-

положены на файлообменнике сайта Mathworks [18].

## Литература

1. Взаимодействие MATLAB с оборудованием. URL: <https://exponenta.ru/news/vzaimodejstvie-matlab-s-oborudovaniem>.
2. Взаимодействие MATLAB с оборудованием: 07. Измерительное оборудование. URL: <https://exponenta.ru/news/video-vzaimodejstvie-matlab-s-oborudovaniem-7-izmeritelnoe-oborudovanie>.
3. Instrument Control Toolbox. URL: <https://exponenta.ru/instrument-control-toolbox> (дата обращения 19.05.2021)
4. E-502. Многофункциональный модуль АЦП / ЦАП E-502 с интерфейсами USB&Ethernet. URL: [www.lcard.ru/products/external/e-502](http://www.lcard.ru/products/external/e-502) (дата обращения 19.05.2021)
5. Верзунов С.Н. Разработка программного компонента трассоискателя на базе устройства сбора данных Л Кард E502 / С.Н. Верзунов, И.В. Бочкарев. Электронные системы и компоненты. 2018. №2 (39).
6. OPC Toolbox. URL: <https://exponenta.ru/opc-toolbox>.
7. Взаимодействие MATLAB с оборудованием: 14. Подключение оборудования L-card при помощи OPC. – URL: <https://exponenta.ru/news/vzaimodejstvie-matlab-s-oborudovaniem-14-podklyuchenie-oborudovaniya-l-card-pri-pomoshchi-opc>.
8. Взаимодействие MATLAB с оборудованием: 15. Подключение оборудования L-card при интеграции dll. – URL: <https://exponenta.ru/news/vzaimodejstvie-matlab-s-oborudovaniem-15-podklyuchenie-oborudovaniya-l-card-pri-integracii-dll>.
9. Суслов Д.А. Влияние переходных режимов на нестационарные вихревые явления в модели отсасывающей трубы гидротурбины / Д.А. Суслов, И.В. Литвинов, С.И. Шторк, Е.Ю. Гореликов. Сибирский физический журнал. 2019. Т. 14. № 4. С. 55-68. DOI 10.25205/2541-9447-2019-14-4-55-68.
10. Когогин Д.А. Разработка автоматизированного приемного комплекса для исследования характеристик радиоволн, распространяющихся через ионосферу / Д.А. Когогин, И. А. Насыров. Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом», Иркутск, 19-24 сентября 2011 года. Иркутск: Редакционно-издательский отдел Института солнечно-земной физики СО РАН, 2011. С. 278-279.
11. L-Card L502/E502 SDK. Версия 1.1.19. URL: [www.lcard.ru/download/lpcie\\_setup.exe](http://www.lcard.ru/download/lpcie_setup.exe).
12. FAQ: How do I install the MinGW compiler? URL: [www.mathworks.com/matlabcentral/answers/311290-faq-how-do-i-install-the-mingw-compiler](http://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/311290-faq-how-do-i-install-the-mingw-compiler) (дата обращения 19.05.2021)
13. Lum C. How to install the MinGW-w64 compiler in Matlab? [Видео] URL: <https://youtu.be/12XRTUqG94Y>.
14. Installation of some MATLAB Support Packages fails with «Download Error» message (1741173). URL: [www.mathworks.com/support/bugreports/1741173](http://www.mathworks.com/support/bugreports/1741173)
15. Борисов А. Со временные устройства сбора данных L502 и E502: Руководство программиста / А. Борисов. М.: ООО «Л Кард», 2020. Ревизия 1.1.10. 127 с. URL: [www.lcard.ru/download/x502api.pdf](http://www.lcard.ru/download/x502api.pdf).
16. C Libraries in MATLAB URL: [www.mathworks.com/help/matlab/c-library-functions.html](http://www.mathworks.com/help/matlab/c-library-functions.html) (дата обращения 19.05.2021)
17. How do I break out of an infinite loop without terminating the subsequent routine? Matlab Answers. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/98491-how-do-i-break-out-of-an-infinite-loop-without-terminating-the-subsequent-routine>.
18. Matsak, I.S. L-CARD E-502 Matlab code. 2021. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/10204>.