



УДК 004.712

DOI: 10.25559/SITITO.14.201801.193-212

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДУЛЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА И ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТЕСТЕРА МУЛЬТИПЛЕКСНОГО КАНАЛА ОБМЕНА: ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ

Д.Е. Гурьев<sup>1</sup>, О.Р. Лапонина<sup>1</sup>, Н.Ю. Миронов<sup>2</sup>, П.Ю. Демьянов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Закрытое акционерное общество Научно-технический центр «Модуль», г. Москва, Россия

### Аннотация

*Модуль универсального устройства и параметрического тестера мультиплексного канала обмена (УЭМ-МК) – новое устройство, удовлетворяющее всем требованиям, предъявляемым к средствам аттестационного тестирования устройств мультиплексного канала передачи данных по ГОСТ Р 52070-2003. Модуль может одновременно выполнять работу контроллера шины, до 32 оконечных устройств, монитора и анализатора шины, вносить в сообщения ошибки необходимых типов. В статье описывается программное обеспечение модуля. В состав программного обеспечения входят: драйвер и управляющая панель, программа самотестирования, программа аттестационного тестирования оконечных устройств ПТОУ, расширенная библиотека функций, интегрированная среда управления БПОУЭМ. Основными для пользователей и разработчиков прикладных программ являются три последних компонента. Драйвер обеспечивает связь с устройством. Управляющая панель предназначена для выполнения идентификации, самотестирования, простейших действий с каналом в диалоговом режиме. Программа аттестационного тестирования оконечных устройств ПТОУ обеспечивает тестирование в соответствии с программой испытаний ГОСТ Р 51765-2001. Программа БПОУЭМ позволяет пользователям создавать собственные сценарии тестирования или имитации сетевого окружения в диалоговом режиме, а расширенная библиотека – в виде прикладных программ. Эти компоненты также позволяют выполнять запись и анализ трафика канала. В статье описывается назначение,*

### Об авторах:

**Гурьев Дмитрий Евгеньевич**, научный сотрудник, лаборатория открытых информационных технологий, факультет вычислительной математики и кибернетики, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1093-108X>, [gouriev@oit.cmc.msu.ru](mailto:gouriev@oit.cmc.msu.ru)

**Лапонина Ольга Робертовна**, научный сотрудник, лаборатория открытых информационных технологий, факультет вычислительной математики и кибернетики, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1); ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5903-6858>, [laponina@oit.cmc.msu.ru](mailto:laponina@oit.cmc.msu.ru)

**Миронов Николай Юрьевич**, начальник отдела специализированной микроэлектроники, Закрытое акционерное общество Научно-технический центр «Модуль» (125167, Россия, г. Москва, 4-ая улица 8 Марта, д. 3); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0963-4475>, [miroнов@module.ru](mailto:miroнов@module.ru)

**Демьянов Петр Юрьевич**, главный специалист отдела специализированной микроэлектроники, Закрытое акционерное общество Научно-технический центр «Модуль» (125167, Россия, г. Москва, 4-ая улица 8 Марта, д. 3); ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8416-3656>, [demyanov@module.ru](mailto:demyanov@module.ru)

© Гурьев Д.Е., Лапонина О.Р., Миронов Н.Ю., Демьянов П.Ю., 2018



возможности, подробности реализации всех перечисленных компонентов, но особое внимание уделено расширенной библиотеке функций и интегрированной среде БПОУЭМ.

#### Ключевые слова

МКПД; контроллер шины; оконечное устройство; монитор шины; тестер протокола; командное слово; ответное слово; командный сегмент; ответный сегмент; VXI.

## THE SOFTWARE OF THE ADVANCED MIL-STD-1553B MULTIPLEX DATA BUS TESTER AND INTERFACE MODULE: FEATURES AND IMPLEMENTATION DETAILS

Dmitry E. Gouriev<sup>1</sup>, Olga R. Laponina<sup>1</sup>, Nikolai U. Mironov<sup>2</sup>, Petr U. Demyanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Joint-stock company Research Centre «Module», Moscow, Russia

#### Abstract

*The UEM-MK is a new module of universal device and parametric tester of multiplex data bus, which meets all requirements for testing equipment for use in validation of devices against requirements of GOST R 52070-2003 (the same as MIL-STD-1553B Notice 4). The module can handle work of bus controller, up to 32 remote terminals and bus monitor/analyser simultaneously, can inject errors of all necessary types. In the article the software of the module is described. The software consist of: the driver, the control panel, the self-test program, the program for validation testing of remote terminals (PTOU), the extended function library, integrated environment (program) BPOUEM. The latter three components are top-level components for users and software developments. The driver provides a connection with the module. Control panel provides module identification, self-testing and simplest actions on the bus in interactive mode. The PTOU program provides validation testing of remote terminals in accordance with the GOST R 51765-2001 test plan.*

*The BPOUEM program lets users to create their own scenarios for testing and network environment imitation in interactive mode, whereas the extended function library lets the same in a form of application programs. Both these components also let to record and analyse bus traffic. The purpose, features and implementation details of all mentioned software components are described in the article, however, especial attention is paid to extended function library and the BPOUEM program.*

#### Keywords

*Multiplex data bus; mil-std-1553b; bus controller; remote terminal; bus monitor; protocol tester; command word; data word; command segment; response segment; VXI.*

#### Введение

Мультиплексный канал передачи данных (МКПД) по ГОСТ Р 52070-2003 [1] (зарубежный аналог стандарта – MIL-STD-1553B [2]; см. также [3-6]) применяется для организации бортовых сетей летательных аппаратов различного назначения, а также для бортовых сетей кораблей и судов или сетей управления технологическими процессами. Несмотря на невысокую по современным меркам скорость

передачи данных (1 Мбит/с), он продолжает находить применение в новых разработках и модернизации существующих образцов радиоэлектронной аппаратуры [7-20]. Такая востребованность связана с повышенной надежностью МКПД. Это, однако, предъявляет достаточно жесткие требования к оборудованию МКПД и к средствам тестирования этого оборудования.

В работе [21] выделены требования к средствам тестирования. Несмотря на



значительное число производимых средств тестирования, очень небольшое число образцов удовлетворяют этим требованиям [21], все – производства США<sup>5,6</sup>.

Модуль универсального устройства и параметрического тестера (УЭМ-МК) [21] разработан российской компанией «Научно-технический центр «Модуль» с тем, чтобы соответствовать указанным требованиям. Модуль позволяет:

- регулировать размах амплитуды сигнала в необходимых пределах;
- длительности фронтов и срезов сигналов в необходимых пределах;
- передавать командные сегменты в режиме контроллера шины (КШ);
- передавать командные сегменты, имитирующие ответы оконечных устройств в тестовых сценариях;
- передавать командные сегменты с наложением (совместно с программным обеспечением), для проверки функции вытеснения команду в ОУ;
- принимать достоверные командные сегменты и передавать ответные сегменты в режиме оконечного устройства (ОУ), имитируя работу до 32 абонентов ОУ;
- вносить ошибки кодирования данных в передаваемые командные и ответные сегменты;
- вносить ошибки состава сообщений и временных интервалов между сообщениями и их частями (совместно с программным обеспечением);
- вносить ошибку типа «ответ по альтернативной шине»;
- принимать информацию по сдвоенной магистрали МКПД и записывать ее в ОЗУ в режиме монитора шины (МШ);
- совместно с программным обеспечением, записывать принятую информацию на диск и анализировать ее.

Работа контроллера шины, до 32 оконечных устройств и монитора шины в составе модуля УЭМ-МК осуществляется одновременно.

<sup>5</sup> TEST SYSTEMS, Inc. URL: [http://www.testsystems.com/TstEq/tester\\_brief.html](http://www.testsystems.com/TstEq/tester_brief.html) (дата обращения: 10.02.2018).

<sup>6</sup> NHI-15515 1553 PCI/S IDEA Card: User's manual. Data Device Corporation, NY, USA, 2005. 22 p. URL: [http://www.nationalhybrid.com/downloads/Mil-Std-1553\\_NHi-15515\\_PCI\\_IDEA\\_Card\\_User\\_Manual.pdf](http://www.nationalhybrid.com/downloads/Mil-Std-1553_NHi-15515_PCI_IDEA_Card_User_Manual.pdf) (дата обращения: 10.02.2018).

Настоящая статья посвящена программному обеспечению модуля УЭМ-МК. Авторы остановятся на особенностях архитектуры модуля, влияющие на разработки программного обеспечения, опишут состав программного обеспечения, его функциональные возможности, концепции построения и особенности реализации.

### Особенности архитектуры модуля УЭМ-МК

В этом разделе описаны особенности архитектуры модуля УЭМ-МК, существенно влияющие разработку, структуру и свойства программного обеспечения.

Модуль УЭМ-МК разработан в виде встраиваемого модуля интерфейса VXI [22,23], внутри которого находятся две платы:

- мезонинный модуль интерфейса МКПД, который обеспечивает функциональность универсального устройства и тестера протокола;
- плата носителя мезонинов (производства Холдинга «Информтест»)<sup>7</sup>, которая обеспечивает сопряжением с шиной VXI, а также содержит ОЗУ достаточно большого объема, организованное в виде двух буферов FIFO (от мезонинного модуля и к нему).

Обмен данными между мезонинным модулем и носителем мезонина выполняется по специфицированному интерфейсу<sup>8</sup>.

Модуль вставляется в слот крейта VXI. Типичным решением является установка управляющей ПЭВМ с программным обеспечением в другой слот этого же крейта, как показано на Рисунке 1. Программное обеспечение УЭМ-МК функционирует в составе многоуровневой структуры, как показано на Рисунке 2.

<sup>7</sup> Холдинг «Информтест». Продукция НМ-М – VXI. URL: <http://www.informtest.ru/produktsiya/kreyty-sistemnye-moduli/nm-m> (дата обращения: 10.02.2018).

<sup>8</sup> ФТКС.468269.011 РЭ. НМ-М. Руководство по эксплуатации. 2014.

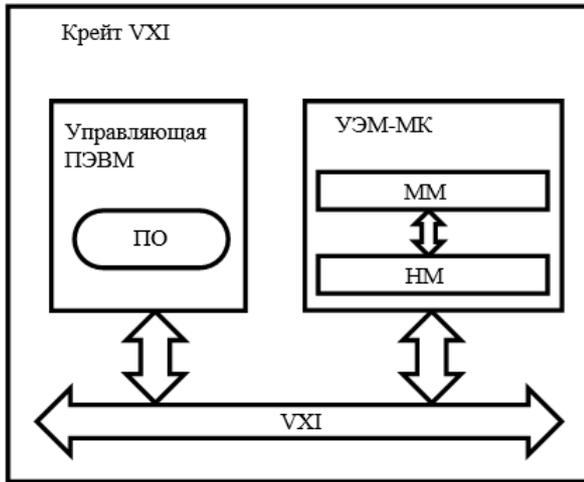


Рисунок 1. Взаимодействие УЭМ-МК с управляющей ПЭВМ и программным обеспечением в составе крейта VXI. Обозначения: ММ – мезонинный модуль, НМ – носитель мезонинов, ПО – программное обеспечение

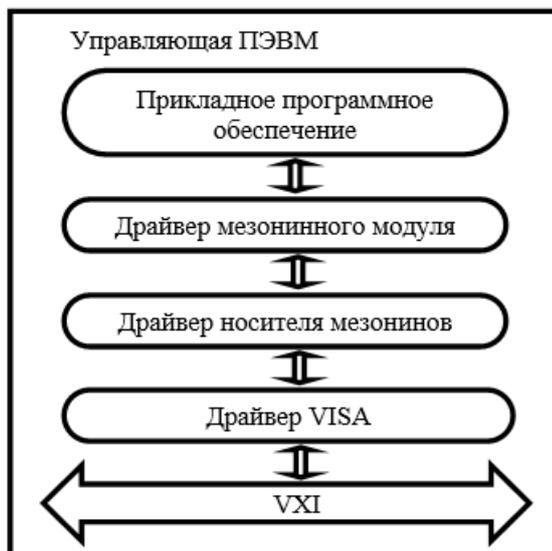


Рисунок 2. Программное обеспечение УЭМ-МК и его программное окружение

Основная функциональность модуля УЭМ-МК сосредоточена в мезонинном модуле (ММ). Говоря далее об архитектуре и функциональности УЭМ-МК, если не оговорено другое, мы будем иметь в виду именно ММ.

Мезонинный модуль имеет 2 16-битных и 15 32-битных конфигурационных регистров, доступных программному обеспечению и управляющих различными аспектами поведения. В нем также имеется встроенное ОЗУ, подключенное к внутренней магистрали.

Адресуемой единицей в этом ОЗУ являются 32-битные слова. Встроенное ОЗУ делится на «внутреннее» и «внешнее». При штатной эксплуатации программному обеспечению доступно только «внешнее» ОЗУ. Это ОЗУ состоит из трех сегментов:

- ОЗУ блока КШ размером 0,5 Мслов с адресами от 0x00400000 до 0x0047FFFF;
- ОЗУ блока ОУ размером 0,5 Мслов с адресами от 0x00480000 до 0x00500000, которое делится на область данных ОУ, область описателей ответных слов для команд передачи данных и область описателей ответных слов для команд управления;
- область данных МШ размером 1 Мслово с адресами от 0x00500000 до 0x00600000.

В области данных КШ и ОУ программное обеспечение помещает данные для передачи по МКПД в режимах КШ и ОУ, а в области данных МШ накапливаются данные, принятые монитором при прослушивании МКПД.

Для записи данных в области КШ и ОУ и считывания данных из области МШ используется аппаратура платы носителя мезонина, при этом данные дополнительно буферизуются в FIFO-буферах. Обмен между ОЗУ мезонинного модуля и буферами носителя мезонина выполняется аппаратурой автоматически, так что программное обеспечение для записи и чтения данных взаимодействует с FIFO-буферами носителя мезонинов.

Каждое слово, предназначенное для передачи по МКПД, представляется в ОЗУ КШ и ОУ в виде пары 32-битных слов  $wg\_rw$  и  $cod\_data$  (см. Рисунок 3), которые в совокупности задают:

- выбор шины МКПД, по которой будет выполняться передача (А/Б);
- событие, от которого будет отсчитываться пауза перед передачей, в качестве такого события может выступать:

  - начало или завершение передачи сегмента (последовательности слов без пауз);
  - сегмента, переданного КШ или ОУ;
  - сегмента, переданного по этой же или альтернативной шине МКПД;
  - сигнал внешней синхронизации;
  - величина паузы;
  - таймаут возникновения ожидаемого события;

- вид синхроимпульса (командное/ответное слово или слово данных);



- информационные разряды передаваемого слова;

- тип вносимой ошибки кодирования и дополнительные параметры ошибки.

В ОЗУ КШ также располагаются управляющие слова «кадров», задающие последовательности передачи слов и сообщений, в том числе – повторы последовательностей. В ОЗУ ОУ также располагаются управляющие слова, задающие реакции ОУ на принятые командные слова:

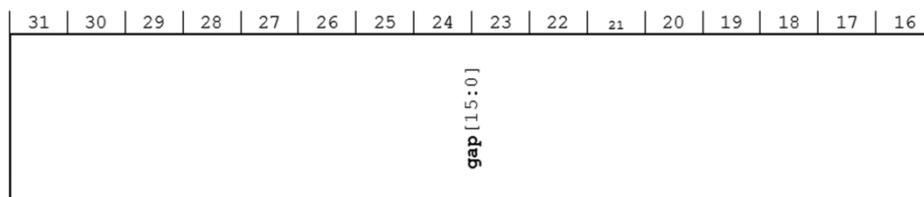
- отсутствие ответа;
- ответ «ошибка в сообщении»;
- нормальный ответ;
- ответ по альтернативной шине;
- отключение ОУ и запуск КШ, как реакция на команду управления «Принять управление интерфейсом»;

- блокировка и разблокировка передатчика ОУ;

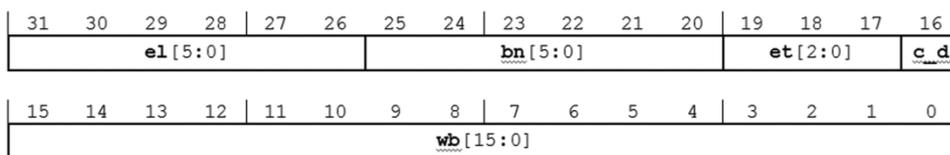
- блокировка и разблокировка признака «Неисправность ОУ».

Каждое слово, принятое МШ, представляется в ОЗУ МШ парой 32-битных слов *dec\_data* и *dec\_param* (см Рисунок 4). В совокупности эти слова содержат:

- информационные разряды принятого слова;
- вид синхроимпульса (командное/ответное слово или слово данных);
- признак приема с шины А или Б;
- признаки обнаруженных ошибок кодирования;
- признаки «передано КШ в составе УЭМ-МК» и «передано ОУ в составе УЭМ-МК»;
- временные метки начала и конца приема слова.



a)



б)

Рисунок 3. Представление данных, передаваемых по МКПД, в ОЗУ УЭМ-МК: а) – структура слова параметров *wg\_pw*, б) – структура слова-описателя передаваемого слова *cod\_data*

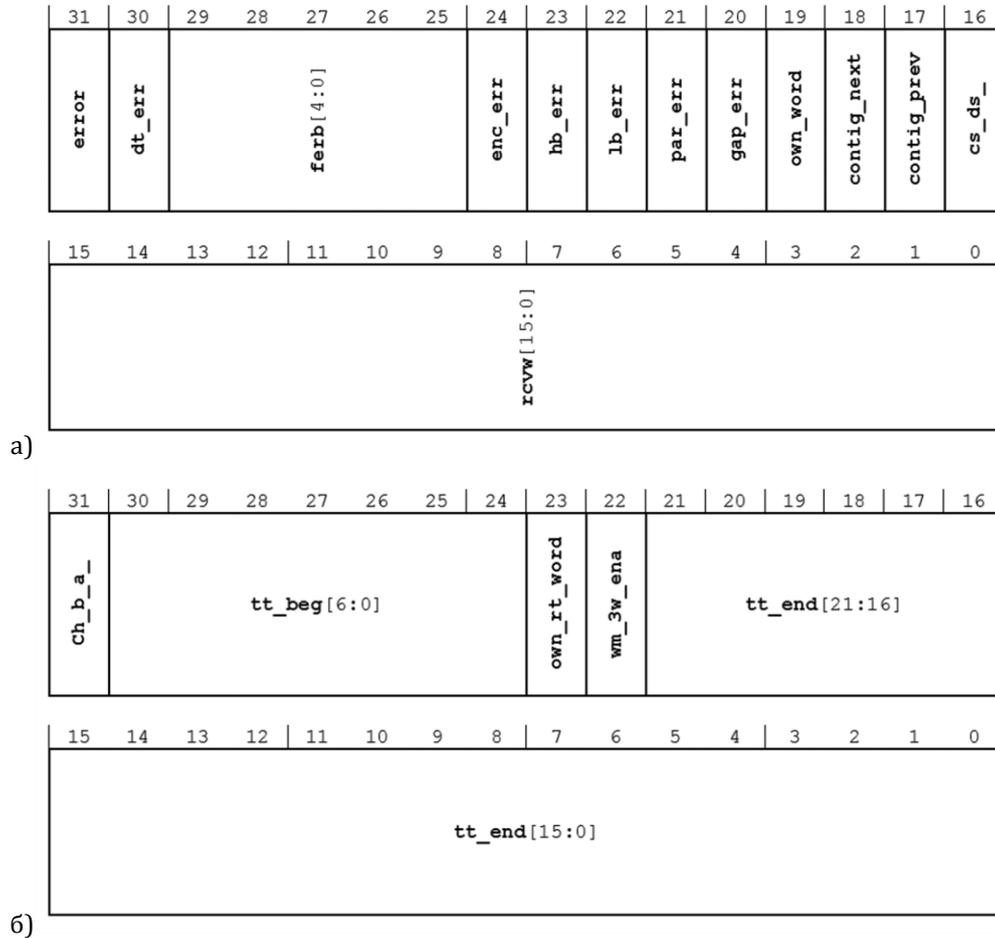


Рисунок 4. Представление данных, принимаемых по МКПД в режиме МШ, в ОЗУ УЭМ-МК: а) – структура слова-описателя dec\_data, б) – структура слова-описателя dec\_param

Возможно также представление в виде тройки слов, в которой в дополнительном слове содержится дополнительная информация о времени приема.

### Состав программного обеспечения УЭМ-МК

В состав программного обеспечения (ПО) УЭМ-МК входят следующие компоненты:

- драйвер;
- управляющая панель;
- программа самоконтроля;
- расширенная библиотека функций;
- интерактивная графическая среда БПОУЭМ;
- программа тестирования оконечного устройства ПТОУ.

В последующих разделах мы рассмотрим назначение, функции и особенности реализации этих компонентов программного обеспечения.

### Драйвер

Драйвер (драйвер мезонина) управляет и обеспечивает доступ к регистрам и ОЗУ мезонинного модуля и передачу потоков данных через FIFO-буферы носителя мезонина. Он работает во взаимодействии с драйвером носителя мезонина unmbase и драйвером универсальной коммуникационной среды VISA, как показано на Рисунке 2. Драйвер экспортирует приложениям набор низкоуровневых функций доступа для открытия и закрытия сеанса связи с устройством, чтения и записи регистров, передачи данных из и в ОЗУ мезонина через FIFO-буфера носителя мезонина. В составе драйвера имеется функция самоконтроля устройства.

Драйвер написан на языке C в среде LabWindows/CVI 8.1 и скомпонован как 32-разрядная динамическая библиотека DLL,



предназначенная для использования в 32-разрядной среде Windows™.

В комплект файлов драйвера входит файл исходного текста С, файл заголовков Н, файл динамической библиотеки DLL, файл панели функций FP, а также файлы статических библиотек LIB связи с динамической библиотекой, предназначенные для использования с компиляторами LabWindows/CVI, Borland C++ и Visual C.

### Управляющая панель

Управляющая панель является простейшим средством интерактивного управления модулем УЭМ-МК при помощи графического интерфейса. Управляющая панель выполнена в виде DLL и предназначена для работы в составе управляющей панели носителя мезонинов.

Управляющая панель предназначена для выполнения следующих функций:

- идентификация модуля;
- самоконтроль инструмента;
- передача сообщений МКПД в режиме контроллера шины;
- установка мезонина и управляющей панели в исходное состояние;

завершение работы с мезонином и закрытия управляющей панели.

Вид окна управляющей панели приведен на Рисунке 5. Окно содержит следующие элементы управления:

- группу индикации и операций общего назначения, содержащую
  - индикатор связи с УЭМ;
  - индикаторы расположения УЭМ;
  - кнопку «Носитель»;
  - индикаторы версий аппаратного и программного обеспечения;
  - кнопку «Самоконтроль»;
  - кнопку «Сброс»;
  - кнопку «Выход»;
- группу передачи сообщений МКПД, содержащую
  - элементы ввода для задания команды МКПД;
  - таблицу для задания и приема слов данных;
  - кнопку «Передать сообщение»;
  - элементы отображения результатов передачи сообщения.

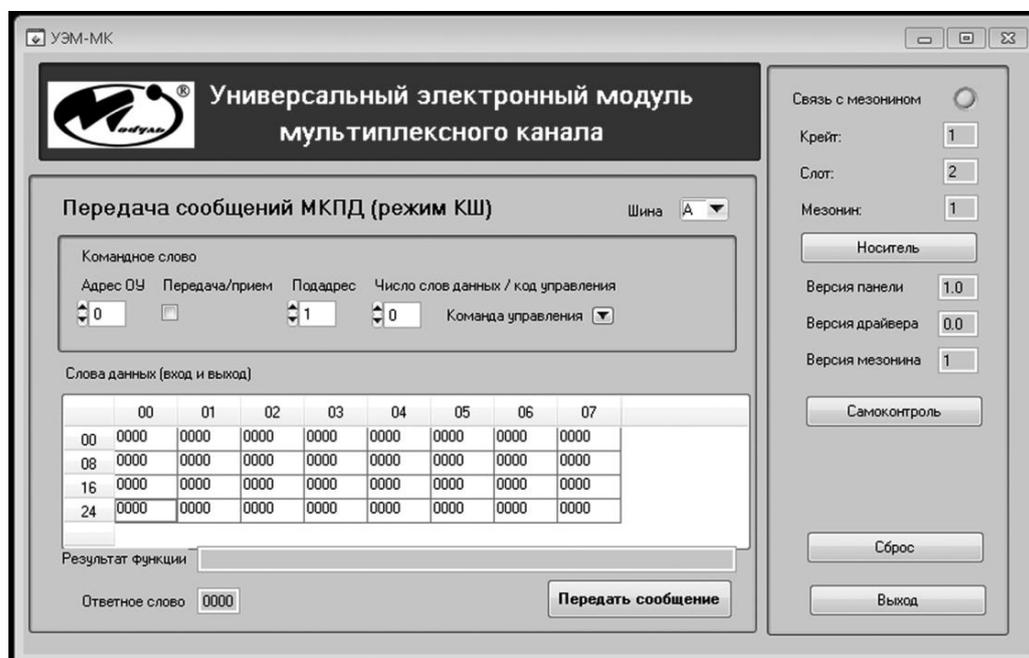


Рисунок 5. Окно управляющей панели

Программа управляющей панели написана на языке С в среде LabWindows/CVI 8.5 и

скомпонована как 32-разрядная библиотека mtem.dll, предназначенная для использования



совместно с управляющей панелью носителя мезонинов `mbase.exe` в 32-разрядной среде Windows™.

### Программа самоконтроля

Программа самоконтроля выполняет самоконтроль устройства из командной строки путем обращения к соответствующей функции драйвера.

### Особенности построения прикладного ПО УЭМ-МК

Для построения двух компонентов УЭМ-МК – программы БПОУЭМ и расширенной библиотеки были введены дополнительные общие понятия и использованы общие приемы.

#### Виртуальное устройство

В составе УЭМ-МК имеются узлы, выполняющие функции КШ, ОУ, монитора шины. При управлении УЭМ-МК удобно рассматривать их как совокупность относительно независимых устройств. Для их обозначения введен термин «виртуальное устройство» (в составе УЭМ-МК). Следует заметить, что деление УЭМ-МК на «виртуальные устройства» не вполне совпадает с делением УЭМ-МК на аппаратные узлы КШ, ОУ, МШ. Так, каждое ОУ, работу которого УЭМ-МК эмулирует в данном сеансе, рассматривается как независимое виртуальное устройство, тогда как в аппаратуре имеется только один общий узел, эмулирующий все ОУ.

В расширенной библиотеке для активации виртуального устройства и последующей работы с ним используются специальные функции открытия виртуальных устройств (см. Рисунок 6), а в программе БПОУЭМ – элемент управления «менеджер устройств» (см. Рисунок 7). В сеансе работы с УЭМ-МК может быть активирован виртуальный КШ, до 32 виртуальных ОУ, виртуальный МШ.

#### Командные и ответные сегменты

Под *сегментом* понимается последовательность соприкасающихся слов, то есть слов, передаваемых по МКПД без пауз.

Сегмент, передаваемый контроллером шины, содержит в начале командное слово (в форматах 3, 8 ГОСТ Р 52070-2003 - два командных слова), за которым, в зависимости от формата сообщения МКПД, могут следовать слова данных. Сегмент, передаваемый контроллером шины, называется *командным сегментом*.

Сегмент, передаваемый оконечным

устройством, состоит из ответного слова, за которым, в зависимости от формата сообщения МКПД, могут следовать слова данных. Сегмент, передаваемый оконечным устройством, называется *ответным сегментом*.

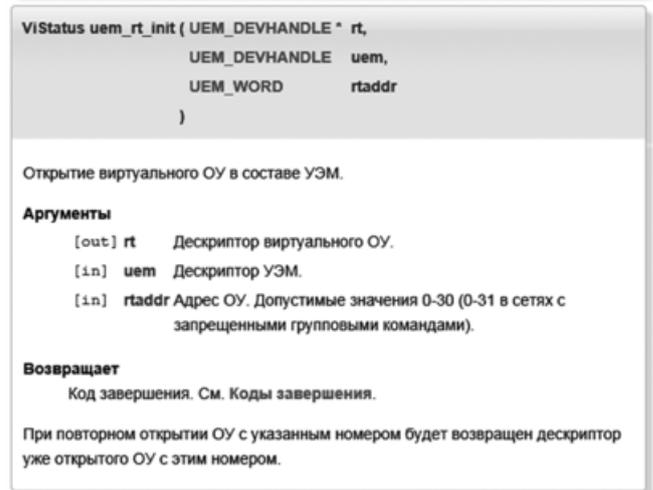


Рисунок 6. Описание функции открытия виртуального ОУ расширенной библиотеки

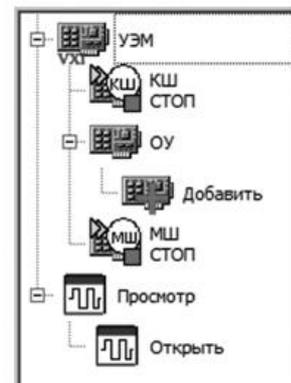


Рисунок 7. Менеджер виртуальных устройств программы БПОУЭМ

В терминах сегментов структура сообщений МКПД описывается следующим образом:

Сообщение состоит из командного сегмента, передаваемого контроллером шины, и ответных сегментов, передаваемых в ответ оконечными устройствами. В зависимости от формата сообщения может включать ноль, один или два ответных сегмента.

Как расширенная библиотека, так и программа БПОУЭМ выполняют создание командных и ответных сегментов (в ОЗУ КШ и ОУ, соответственно), настройку интервалов времени между передачей сегментов и, при



необходимости, внесение ошибок состава, временных интервалов и кодирования слов в эти сегменты.

Исходя из общности этих задач, можно было бы предполагать общность основных функций и структур данных расширенной библиотек и программы БПОУЭМ. Этого, однако, не произошло по следующим причинам.

Структуры данных в программе БПОУЭМ ориентированы на интерактивное редактирование, а также на сохранение в файл и восстановление из файла (сериализацию). Взаимодействие с аппаратурой УЭМ-МК заключается в «загрузке» подготовленных конфигураций в ОЗУ УЭМ-МК, то есть в преобразовании редактируемых структур данных в аппаратный формат УЭМ-МК и передача в ОЗУ УЭМ-МК. Эти операции выполняются небольшим числом достаточно сложно организованных функций.

В отличие от этого, расширенная библиотека ориентирована на программное создание, редактирование и настройку параметров командных и ответных сегментов в ОЗУ УЭМ-МК. Для этого в библиотеке предусмотрено значительное число функций, необходимых для доступа к параметрам сегментов непосредственно в ОЗУ УЭМ-МК.

#### *Зеркалирование ОЗУ КШ и ОУ*

В УЭМ-МК достаточно сложно реализована операция чтения из ОЗУ КШ и ОУ. Кроме того, она использует FIFO-буфер вывода данных из мезонина, который параллельно может использоваться монитором шины, и выполнение операций чтение могло бы нарушить работу монитора. При этом надо учесть, что УЭМ-МК использует ОЗУ КШ и ОУ только для чтения, как источник данных для передачи по МКПД, а запись в эти сегменты ОЗУ выполняет только управляющая ПЭВМ.

В связи с изложенным было принято решение реализовать в ОЗУ управляющей ПЭВМ зеркало (упрощенный кэш) сегментов ОЗУ КШ и ОУ. Функции записи в ОЗУ в составе расширенной библиотеки и программы БПОУЭМ выполняют запись одновременно в ОЗУ и в зеркало, а функции чтения выполняют чтение из зеркала сегментов ОЗУ, без обращения к самому модулю.

#### **Расширенная библиотека**

Расширенная библиотека функций

предназначена для разработки приложений, использующих УЭМ-МК, для создания собственных сценариев тестирования или имитации сетевого окружения, а также собственных средств анализа трафика МКПД. Библиотека предоставляет расширенный набор высокоуровневых проблемно-ориентированных функций, позволяющих управлять всеми аспектами работы устройства:

- управление устройством в режимах контроллера шины, оконечного устройства (до 32), монитора шины;
- внесение ошибок в соответствии с требованиями контроля:
  - ошибки размаха амплитуды и наклона фронтов сигнала;
  - ошибки кодирования слов;
  - ошибки временных интервалов;
  - ошибки состава сообщения;
- управление синхронизацией УЭМ-МК с внешним оборудованием.

Библиотека является надстройкой над драйвером УЭМ-МК и выполнена в виде DLL.

Функции, предоставляемые библиотекой, позволяют управлять работой УЭМ-МК в терминах протокола МКПД и абстрагироваться от значительного числа подробностей работы универсального модуля.

Управление контроллером шины основано на создании и конфигурировании специальных объектов в ОЗУ УЭМ-МК: командных сегментов, кадров и программы КШ. Помимо обычных командных сегментов, библиотека позволяет создавать сегменты «с наложением», необходимые для проверки функции вытеснения команд в ОУ. Управление оконечным устройством основано на создании и конфигурировании объектов – ответных сегментов. Функции монитора шины выполняют прием и анализ трассы МКПД и передает приложению сообщения МКПД с сопроводительной информацией в специфицированном формате. Имеются функции для внесения ошибок в командные и ответные сегменты.

В общей сложности, библиотека экспортирует более 80 функций. Функции библиотеки разделены на следующие группы:

- функции установления и разрыва связи с устройством;
- функции управления параметрами конфигурации УЭМ-МК;



- функции управления параметрами интервалов времени между сегментами;
- функции работы с аппаратным счетчиком времени;
- функции КШ;
- функции заполнения образа командного сегмента в ОЗУ управляющей ПЭВМ;
- функции создания и редактирования командных сегментов в ОЗУ УЭМ-МК (включая функции внесения ошибок кодирования, задания интервалов времени между сообщениями, создания сегментов с наложением);
- функции создания и редактирования кадров и программы КШ в ОЗУ УЭМ-МК;
- функция передачи отдельного сообщения без предварительного конфигурирования КШ;
- функции создания и редактирования ответных сегментов ОУ (включая функции задания интервалов времени и внесения ошибок кодирования);
- функции монитора шины;
- функции запуска и остановки;
- служебные функции.

Библиотека имеет нижний, недоступный приложениям, подуровень функций, обеспечивающих выделение областей ОЗУ УЭМ-МК для размещения объектов контроллера и оконечных устройств, эффективный обмен данными с ОЗУ УЭМ-МК, зеркалирование ОЗУ ОУ и КШ.

Библиотека поставляется с развернутой документацией в электронном и печатном формате (.chm и .doc) и комплектом программ – примеров использования.

### Интерактивная графическая среда БПОУЭМ

Программа БПОУЭМ («Базовое программное обеспечение УЭМ») – интерактивная графическая среда, позволяющая использовать все возможности модуля при решении задач тестирования, отладки и диагностики устройств сопряжения. Программа позволяет создавать собственные сценарии тестирования или

имитации сетевого окружения в диалоговом режиме, а также выполнять запись и анализ сетевого трафика.

Функциональные возможности УЭМ-МК под управлением БПОУЭМ:

- имитация работы контроллера шины;
- имитация работы оконечных устройств, до 32;
- выполнение функций монитора шины;
- внесение специфицированных ошибок в соответствии с требованиями контроля в режимах контроллера шины и оконечного устройства;
- детектирование специфицированных типов ошибок в режиме монитора шины;
- запись и анализ сообщений МКПД и ошибок в течение длительного времени, ограниченного, по сути, только емкостью накопителя данных на используемой управляющей ЭВМ.

БПОУЭМ позволяет сконфигурировать УЭМ-МК для решения множества различных прикладных задач, сохраняет состояние между сеансами работы, обеспечивает экспорт и импорт конфигураций УЭМ-МК. Предусмотрен также экспорт конфигурационных и отчетных данных в тестовые форматы (ТХТ и HTML).

Общий вид основного диалогового окна БПОУЭМ приведен на Рисунке 8.

После установления связи с УЭМ-МК выбор и активация виртуальных устройств производится при помощи графического элемента управления «менеджер устройств», который располагается в левой части главного окна программы. В правой находится рабочая область, в которой располагаются окна управления активированными виртуальными устройствами.

Управление контроллером шины заключается в интерактивном создании и редактировании командных сегментов, включая задание временных интервалов между сообщениями и внесение в сегменты специфицированных ошибок.

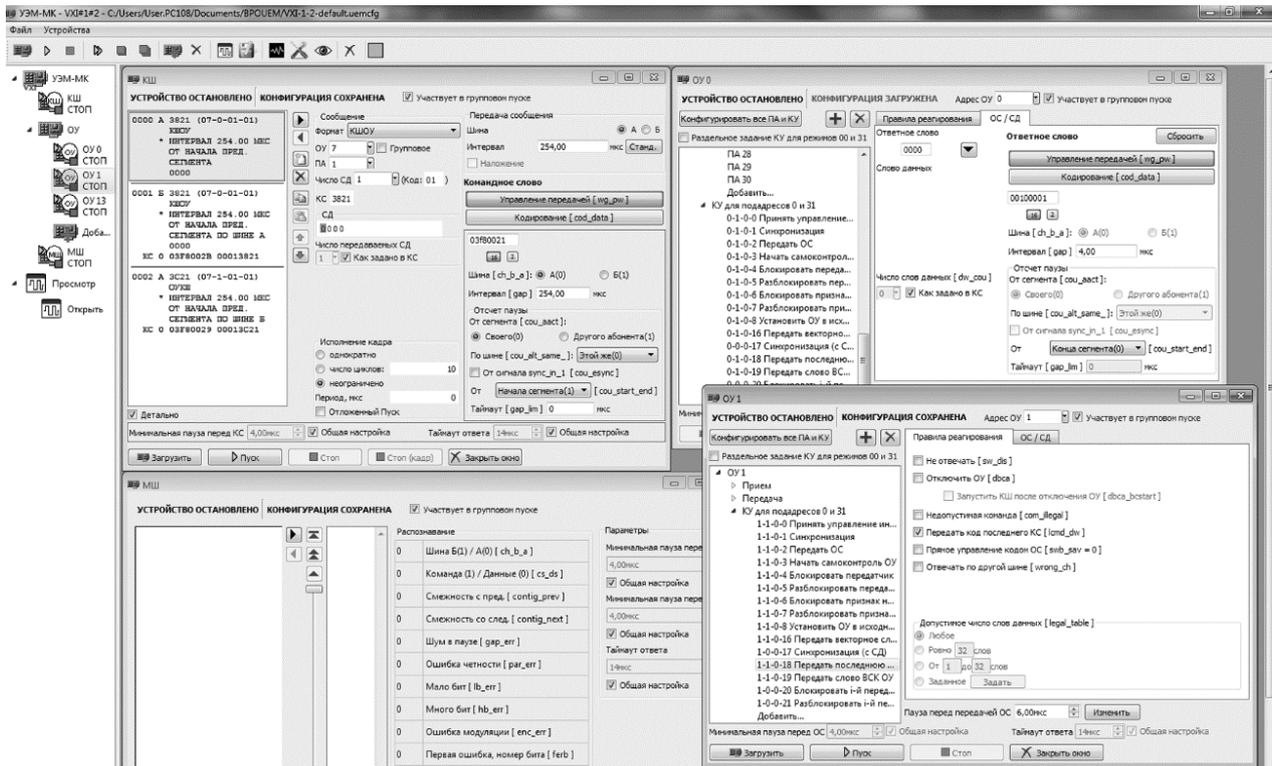


Рисунок 8. Главное окно программы БПОУЭМ

Вид окна КШ приведен на Рисунке 9. Окно можно условно разделить на три части – левую, центральную и правую, в каждой из частей находятся графические элементы управления, связанные с определенным уровнем представления данных КШ.

В левой части отображается кадр КШ в целом. Сообщения МКПД отображаются в специфицированном формате. Цветами выделяются данные, предназначенные для передачи по МКПД (синим), предупреждения программы об ошибках, внесенных как специально, так и ненамеренно. Выбор определенного сообщения в этом списке конфигурирует среднюю часть для детального отображения и редактирования выбранного сообщения.

Средняя часть предназначена для конструирования и редактирования сообщения МКПД в терминах ГОСТ Р 52070-2003. Состав графических элементов управления в этой части меняется в соответствии с заданным

форматом сообщения. Имеется возможность создавать корректные командные сегменты для всех форматов сообщений МКПД в соответствии с ГОСТ Р 52070-2003, а также сегменты с ошибками состава сообщения.

В правой части представлена и может быть изменена детализированная информация по любому слову сообщения. Выбор слова определяется текущей позицией в средней части. Для выбранного слова отображаются и могут быть изменены параметры, находящиеся в словах *wg\_rw*, *cod\_data* (см. Рисунок 3). При этом может быть выполнена тонкая настройка интервалов между сообщениями в зависимости от событий, внесены ошибки кодирования.

Отдельные группы графических элементов управления в окне задают временные интервалы между сообщениями и параметры исполнения кадра в целом.

В окне имеются кнопки для запуска и остановки контроллера шины.

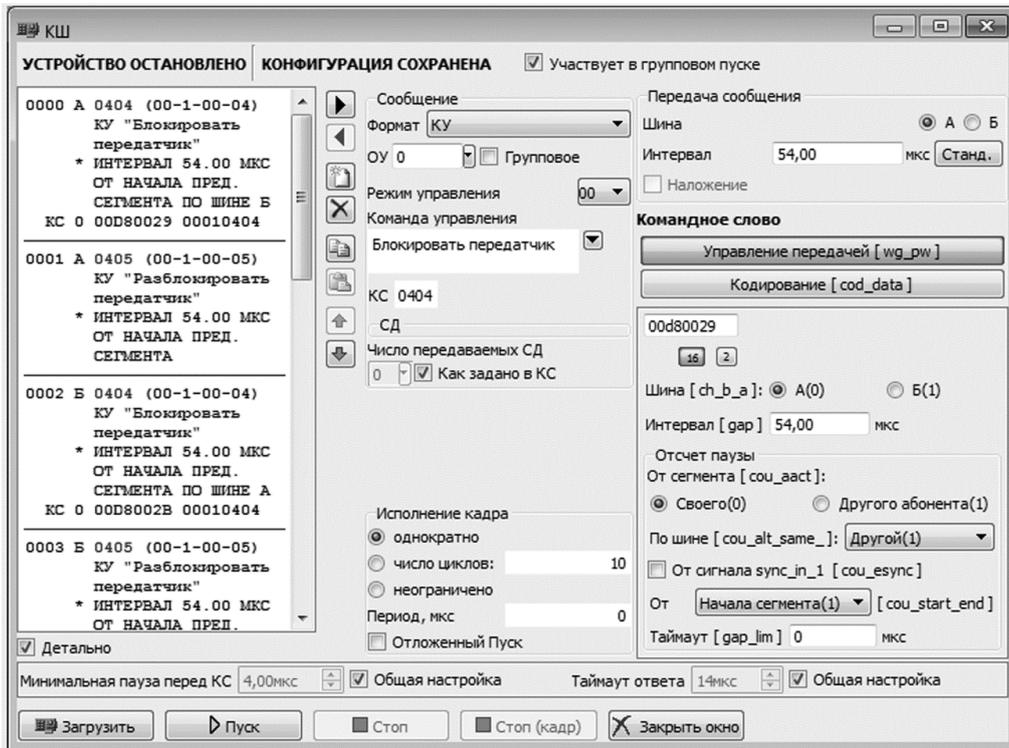


Рисунок 9. Окно контроллера шины

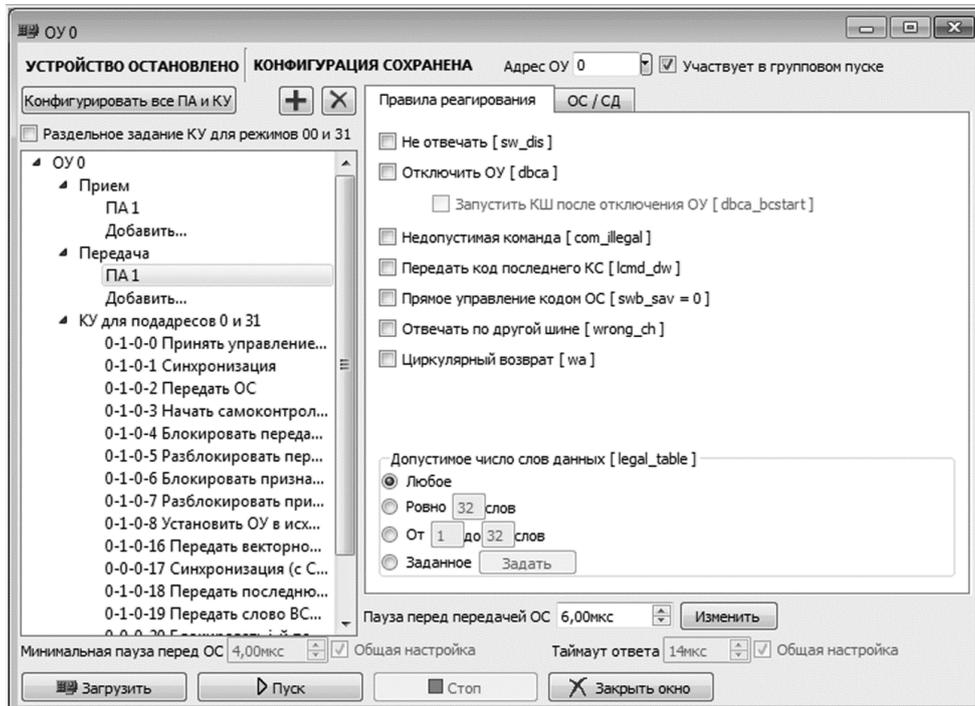


Рисунок 10. Окно оконечного устройства, вкладка «Правила реагирования»

Управление оконечным устройством заключается в задании реакции ОУ на



принимаемые командные слова и передаваемых ответных сегментов. Общий вид окна ОУ приведен на Рисунке 10.

В левой части находится структурированный перечень командных слов, на которые определена реакция данного ОУ. Для всех остальных командных слов автоматически генерируется ответное слово с признаком «Ошибка в сообщении». Имеется возможность добавлять и удалять обрабатываемые командные слова.

Правая часть состоит из двух вкладок. На вкладке «Правила реагирования» задаются признаки, определяющие реакцию ОУ на получение данного командного слова (см. Рисунок 10). На вкладке «ОС/СД» задается ответный сегмент, включая ответное слово и слова данных (см. Рисунок 11). Имеется возможность создания ответного сегмента с ошибкой состава сообщения. В правой части вкладки находится редактор отдельных слов,

позволяющий задавать параметры описателей  $wg\_pw$  и  $cod\_data$  (см. Рисунок 3), в том числе – задавать ошибки кодирования.

В окне имеются кнопки для запуска и остановки данного ОУ.

Запуск и остановка данного виртуального ОУ не влияет на работу других виртуальных ОУ.

Основная задача монитора шины – прием и накопление данных МКПД, так называемой «трассы».

Общий вид окна МШ представлен на Рисунке 12.

Окно можно условно разделить на четыре колонки, информация в колонках отличается степенью детализации.

В левой колонке отображается трасса в специфицированном формате. Аналогично КШ, применяется цветовое выделение для данных, полученных с МКПД (синим) и сообщений об ошибках (красным). Имеется возможность экспорта трассы в форматах TXT и HTML.

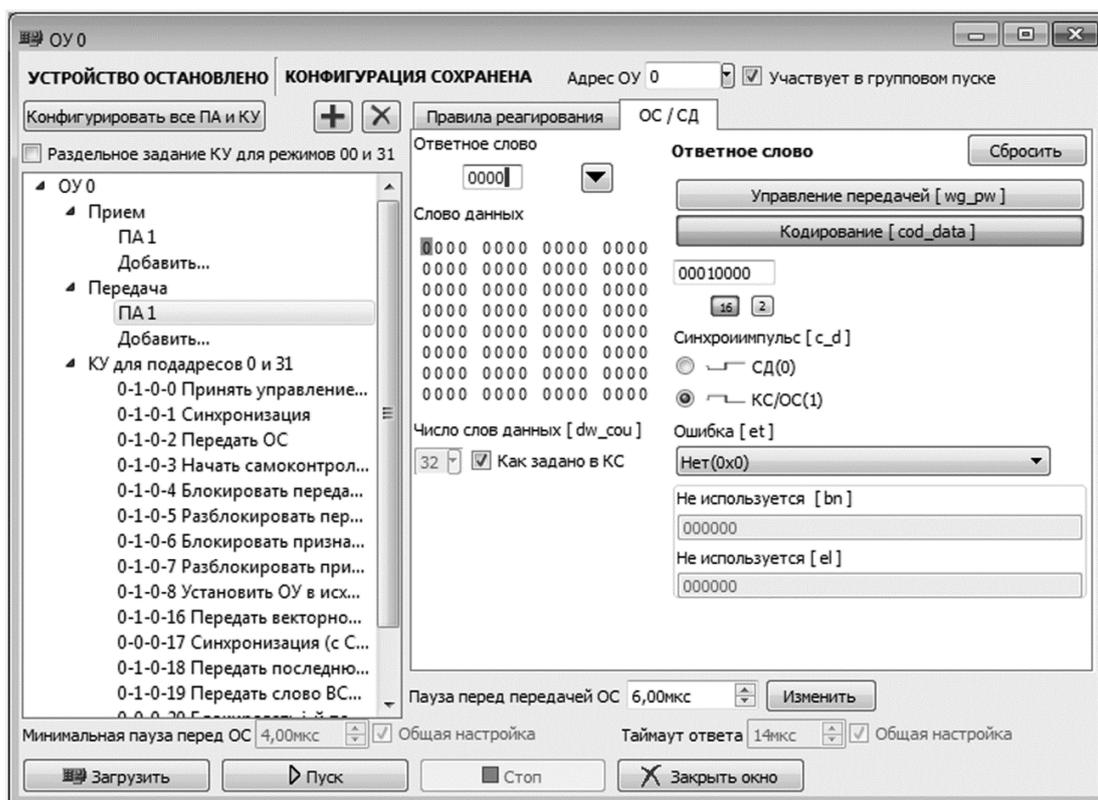


Рисунок 11. Окно оконечного устройства, вкладка «ОС/СД»

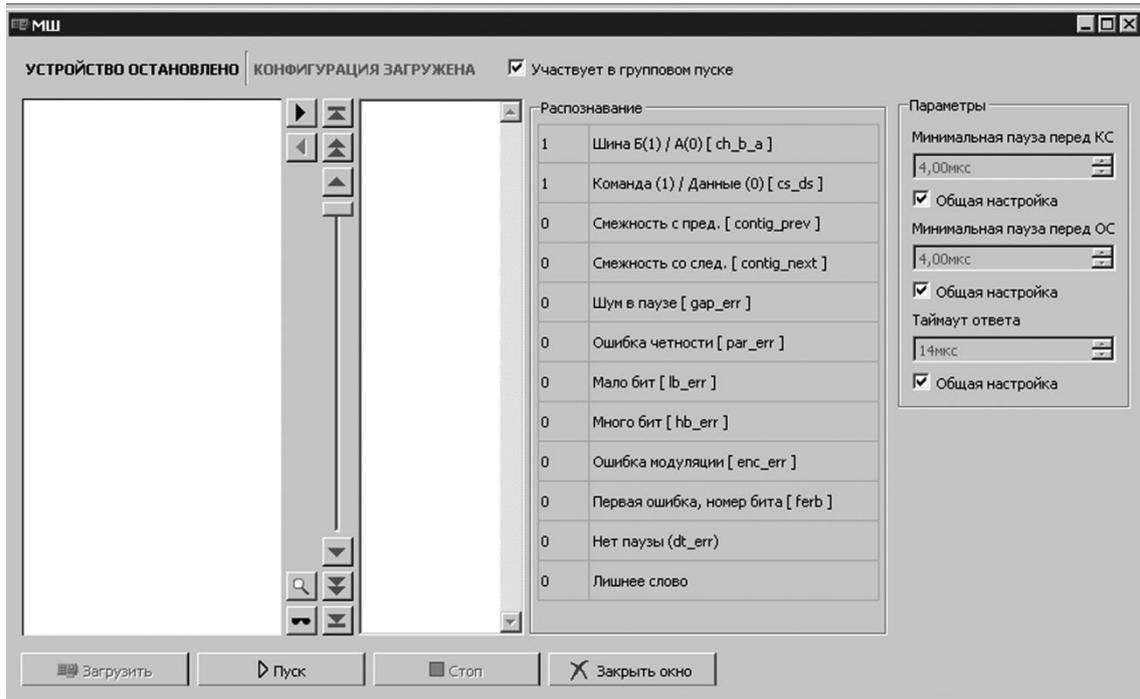


Рисунок 12. Окно монитора шины

Пример отображения трассы приведен на Рисунок 13.

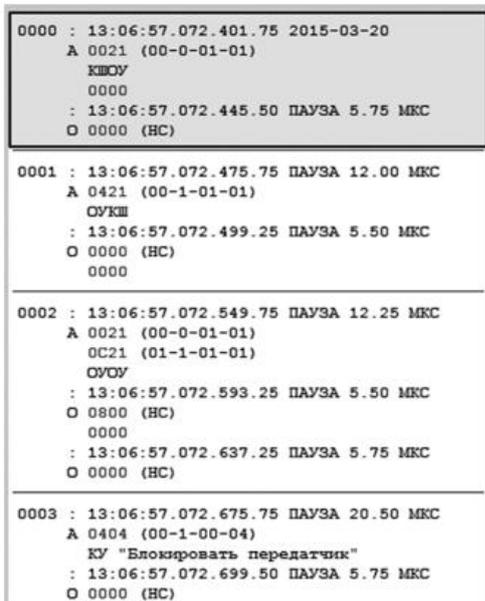


Рисунок 13. Пример трассы МШ

Выбор конкретного сообщения трассы приводит к тому, что в следующей колонке отображаются слова этого сообщения (см. Рисунок 14).

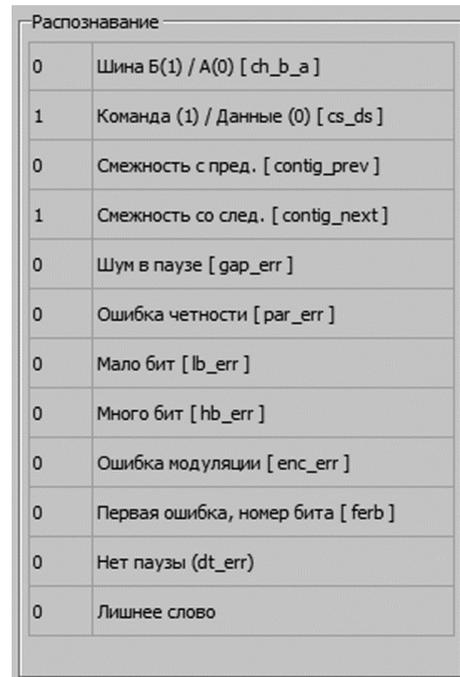


Рисунок 14. Отображения слов сообщения

Выбор конкретного слова в списке слов приводит к тому, что в следующей колонке отображаются признаки распознавания данного слова, в том числе – детектированные при приеме ошибки кодирования (см. Рисунок 15).



Большинство из этих признаков соответствует данным в словах монитора шины (см. Рисунок 4). Самая правая колонка содержит небольшое количество параметров конфигурации МШ.

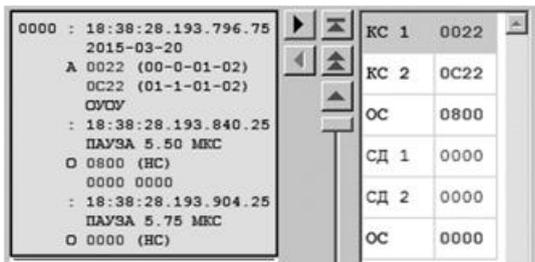


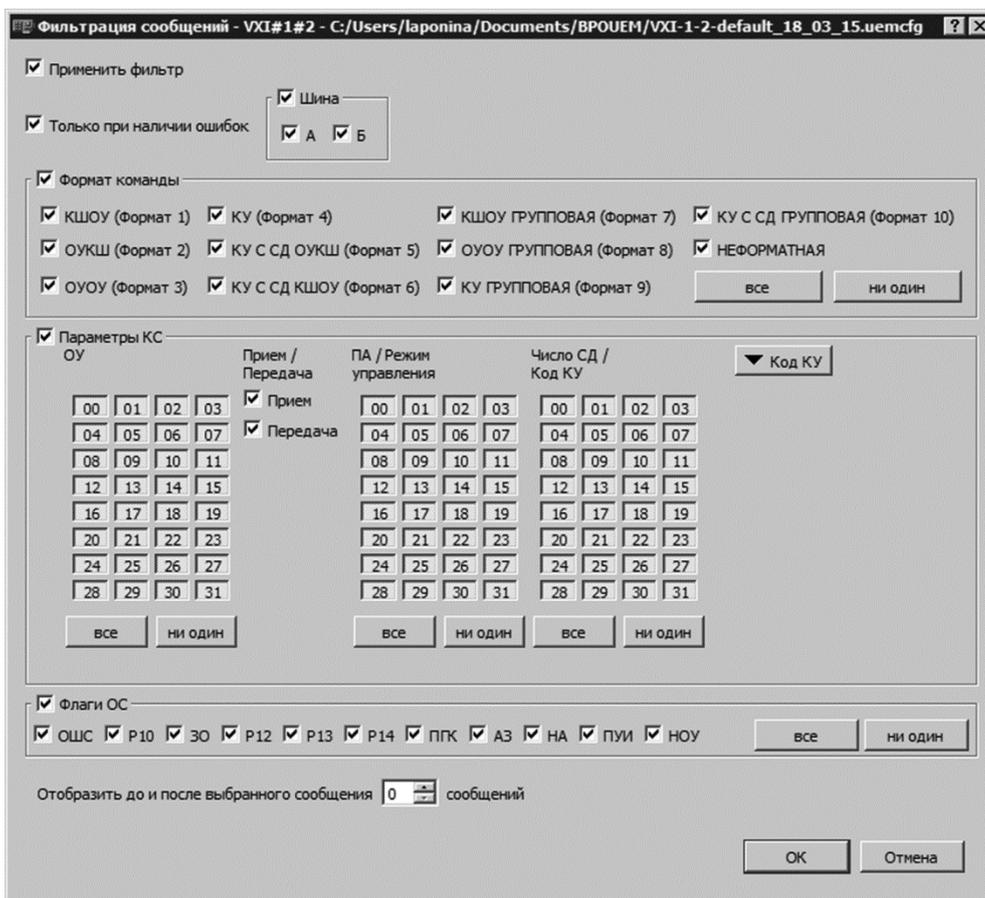
Рисунок 15. Признаки распознавания

В окне МШ имеются функции многокритериальной фильтрации и многокритериального поиска сообщений в трассе. Пример окна управления фильтром

приведен на Рисунке 16.

Функция поиска имеет аналогичные параметры для поиска и окно аналогичного вида. Основная функция программного обеспечения режима монитора шины в БПОУЭМ скрыта от пользователя.

Она заключается в получении от аппаратуры МШ трассы в виде последовательности описателей отдельных слов МКПД (см. Рисунок 4), реконструкции из этих слов сообщений МКПД, определения форматов сообщений, детектирование ошибок состава сообщений и недопустимых временных интервалов (в дополнение к ошибкам кодирования, уже детектированным аппаратурой), сохранение реконструированных сообщений в файл.





только размером жесткого диска управляющей ПЭВМ.

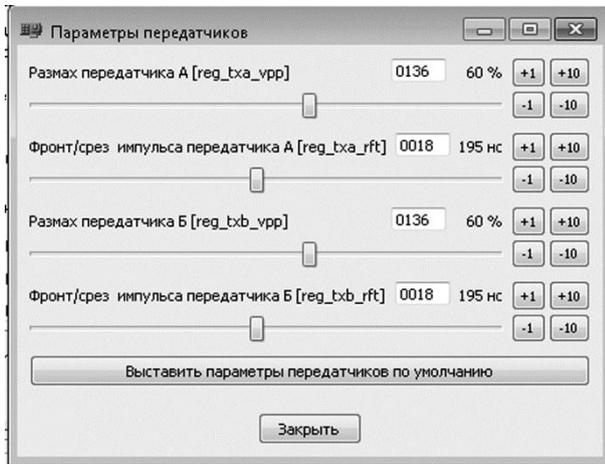


Рисунок 17. Окно управления параметрами передатчиков

В программе обеспечена скорость сохранения на диск, позволяющая записывать без потерь трассу при одновременной передаче потока сообщений по обеим шинам МКПД (т.е. двойной запас по скорости по сравнению со штатным режимом работы МКПД). (Тестирование проводилось на компьютере с процессором Intel i3-2100 с тактовой частотой 3ГГц, объемом ОЗУ 4Гб.)

В программе имеется окно для изменения основных параметров конфигурации устройства, и отдельное окно для управления параметрами передатчиков. В окне основных параметров предусмотрена дисциплина просмотр – изменение – применение изменений (или отмена). В отличие от этого, в окне управления параметрами передатчиков (см. Рисунок 17) воздействия оператора на органы управления передаются в устройство немедленно.

При разработке интерактивной графической среды БПОУЭМ использован опыт разработки аналогичной среды ПУРУМК для другой линейки продуктов НТЦ «Модуль» для ГОСТ Р 52070-2003 [24-26]. БПОУЭМ унаследовала от предыдущей разработки:

- общую концепцию построения графического пользовательского интерфейса: Multi-Document Interface [27], элемент управления «менеджер устройств» в левой части окна, окна функциональных модулей в рабочей области;

- общую концепцию внутренней архитектуры приложения: общая часть, функциональные модули, управляющие

виртуальными устройствами, специфицированные объектно-ориентированные интерфейсы между общей частью и функциональными модулями, широкое применение паттерна программирования «Model-View-Controller» [28-30];

- библиотеку графических элементов управления, ориентированных на протокол ГОСТ Р 52070-2003;

- подсистему ввода-вывода (сериализации) данных конфигурации устройств в формате XML.

Программа разработана на языке C++. Для построения графического интерфейса пользователя использована библиотека Qt Library9 версии 5.

### Программа тестирования оконечного устройства ПТОУ

Сведения этого раздела приводятся по [21]. Программа ПТОУ предназначена для выполнения аттестационного тестирования оконечных устройств в соответствии с программой испытаний ГОСТ Р 51765-2001 [31] в автоматическом и полуполуавтоматическом режимах.

Программа имеет графический интерфейс пользователя, позволяющий гибко настраивать процесс испытаний, управлять им в интерактивном режиме, настраивать взаимозависимые параметры тестируемого модуля, формирует развернутые отчеты.

Внутренняя архитектура программы основана на «специализированной виртуальной машине» тестовых сценариев с собственным входным языком XTS-2 и возможностью добавления дополнительных скриптовых языков.

<sup>9</sup> The Qt Company. Development Resources. URL: <https://www.qt.io/developers/> (дата обращения 10.02.2018).

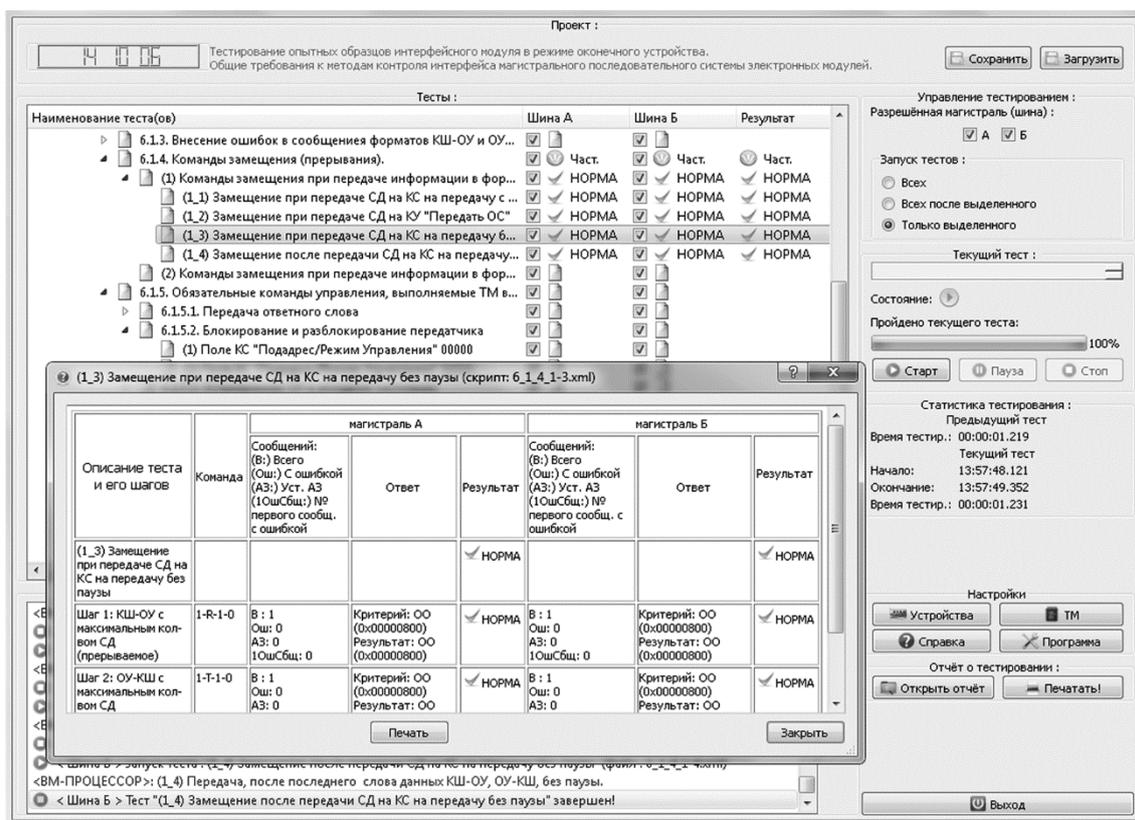


Рисунок 18. Главное окно программы ПТОУ

Такое построение позволяет, при необходимости, расширять функциональность программы дополнительными стандартизированными или специализированными тестовыми сценариями и их комплектами и адаптировать программу для реализации дополнительных методов испытаний, а также производить самотестирование самих тестовых последовательностей средствами самой программы.

Общий вид основного диалогового окна программы ПТОУ приведен на Рисунке 18.

### Заключение

Модуль УЭМ-МК удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к средствам

тестирования оборудования ГОСТ Р 52070-2003. В совокупности с программным обеспечением, рассмотренным в статье, он позволяет решать широкий круг задач по тестированию и отладке такого оборудования, в том числе – проведение испытаний в соответствии с ГОСТ Р 51765-2001. Рассмотрен состав программного обеспечения, особенности реализации и использования его компонентов. Главными компонентами программного обеспечения являются интерактивная графическая среда управления устройством «ПУРУМК», интерактивная графическая программа тестирования по ГОСТ Р 51765-2001 «ПТОУ» и расширенная библиотека функций для разработки приложений.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования. М.: Госстандарт России. 2003. 26 с.
- [2] MIL-STD-1553B Notice 4. Digital time division command/response multiplex data bus. Dod, 1996. 44 p.
- [3] Derek B. Introduction to the Mil-Std-1553B serial multiplex data bus // Microprocessors and Microsystems. 1988. Vol. 13, issue 1. Pp. 3-12. DOI: [https://doi.org/10.1016/0141-9331\(88\)90030-0](https://doi.org/10.1016/0141-9331(88)90030-0)
- [4] Kanchana G., Satish Kumar M. Avionics System Network with MIL-STD 1553B Bus // IETE Journal of Research. 1995. Vol. 41, issue



- 5-6. Pp. 291-295. DOI: <https://doi.org/10.1080/03772063.1995.11437265>
- [5] *Moir I., Seabridge A., Jukes M.* Civil Avionics Systems (2nd Edition). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2013. 608 p.
- [6] *Spitzer C., Ferrell U., Ferrell T.* Digital Avionics Handbook (Third Edition). Boca Raton, Florida: CRC Press, 2017. 848 p.
- [7] A low-cost, radiation-hardened single-board computer for command and data handling / R. Merl, P. Graham // IEEE Aerospace Conference Proceedings. Vol. 2016, June, art. no. 7500849. DOI: <https://doi.org/10.1109/AERO.2016.7500849>
- [8] System design of the barracuda flight control system / A. Schönhoff [et al.] // IFAC Proceedings Volumes. 2007. Vol. 40, issue 7. Pp. 121-128. DOI: <https://doi.org/10.3182/20070625-5-FR-2916.00022>
- [9] *Bobkov S.G., Serdin O.V., Arkhangel'skiy A.I., Arkhangel'skaja I.V., Suchkov S.I., Topchiev N.P.* The Unification of Space Qualified Integrated Circuits by Example of International Space Project GAMMA-400 // Physics Procedia. 2015. Vol. 74. Pp. 224-231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2015.09.208>
- [10] Design and implementation of low-power MIL-STD-1553B bus controller In: Satapathy S., Bhateja V., Chowdary P., Chakravarthy V., Anguera J. (eds) / C.D. Naidu [et al.] // Proceedings of 2nd International Conference on Micro-Electronics, Electromagnetics and Telecommunications. Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, Singapore, 2018. Vol. 434. Pp. 183-189. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4280-5\\_19](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4280-5_19)
- [11] Design and Implementation of High Performance MIL-STD-1553B Bus Controller / K. Sushma [et al.] // Proceedings of 2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference, IACC 2017. Pp. 266-269. DOI: <https://doi.org/10.1109/IACC.2017.0065>
- [12] Design and Implementation of Remote Terminal for MIL-STD-1553 B / B. Sourav [et al.] // Proceedings of 2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference, IACC 2017. Pp. 270-274. DOI: <https://doi.org/10.1109/IACC.2017.0066>
- [13] *Gupta S., Raj R., Mathew A.M., Koshy A.P., Paramasivam R., Mookiah T.* Mission Management Computer and Sequencing Hardware for RLV-TD HEX-01 Mission // Journal of The Institution of Engineers (India): Series C. 2017. Vol. 98, issue 6. Pp. 725-729. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40032-017-0400-z>
- [14] Avionic Data acquisition system using MIL STD 1553B controller with IRIG-B timecode decoder / J. Kappan Shona, V. Vivekanand // Proceedings of the International Conference on Circuits, Power & Computing Technologies (ICCPCT-2014). 2014. Pp. 1127-1133. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2014.7055047>
- [15] Automated analysis of MIL-STD-1553B communication protocol test results / A. Savitha [et al.] // Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Advanced Communications, Control and Computing Technologies. 2014. Pp. 919-923. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICACCCT.2014.7019228>
- [16] Design and Implementation of IP Core for 1553B bus test / X. Liu, X. Hu // Proceedings of 2015 10th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2015. art. no. 7334219. Pp. 1608-1612. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2015.7334219>
- [17] *Xie M., Zhang Y., Liu G.M.* A 1553B remote terminal FPGA interface design based on BU61580 // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 568-570. Pp. 1155-1161. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.568-570.1155>
- [18] Study on the low power technologies of 1553B bus / I. Zhou, J. An // Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing, ICSPCC 2013. art. no. 6663877. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSPCC.2013.6663877>
- [19] *Chen D.-Q., Cao G.-H., Wang J.-H., Fan H.-L.* Research on Key Technologies of Detecting 1553B Avionics Data Bus Network // Defence Technology. 2013. Vol 9, issue 3. Pp. 176-180. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2013.09.019>
- [20] The design of 1553B bus fault injection device and its implementation for BIT verification / L. Wang, P. Xu, B. Liu // Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering, ICICEE 2012. art.no.6322691. Pp. 1525-1528. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICICEE.2012.401>
- [21] *Харин В.А., Демьянов П.Ю., Миронов Н.Ю., Стенькин Е.С.* Модуль универсального устройства интерфейса и параметрического тестера МКПД по ГОСТ Р 52070-2003 // Труды НИИСИ РАН. 2017. Т. 7, № 2. С. 61-73. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30562515> (дата обращения: 10.02.2018).
- [22] *Hetherington D.* The VXIbus: an introduction // IEE Colloquium on Buses for Instruments: VXI and Beyond. 1989. Pp. 1/1 – 1/3. INSPEC ID: 3406954
- [23] *Зайченко С.Н., Перцовский М.И.* Новое поколение смешанных и динамических модульных информационно-измерительных и телеметрических систем в стандартах VXI и LXI // Автоматизация в промышленности. 2009. № 7. С. 3-10. URL: <https://avtпром.ru/novoe-pokolenie-smeshannykh-i-dinamicheskikh> (дата обращения: 10.02.2018).
- [24] *Гурьев Д.Е., Лызлов В.Е., Миронов Н.Ю., Харин В.А., Чихичин Д.А.* Программное обеспечение устройств сопряжения мультиплексного канала обмена // Сборник докладов I Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии и ИТ-образование» / Под ред. проф. В.А. Сухомлина. М.: Макс-Пресс, 2005. С. 659-664.
- [25] *Гурьев Д.Е., Демьянов П.Ю., Козаченко С.Ю., Лапонина О.Р., Миронов Н.Ю., Харин В.А., Чихичин Д.А.* Разработка интегрированной среды управления каналобразующими устройствами бортовых сетей // Сборник докладов II Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии и ИТ-образование» / Под ред. проф. В.А. Сухомлина. М.: Макс-Пресс, 2006. С. 413-416.
- [26] *Гурьев Д.Е., Душистов Е.А., Сафронов С.С., Чихичин Д.А.* Инструментальные средства при разработке интегрированной среды управления каналобразующим оборудованием бортовых сетей // Сборник докладов III Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии и ИТ-образование» / Под ред. проф. В.А. Сухомлина. М.: Макс-Пресс, 2008. С. 321-332.
- [27] *Newman R.* User Interface Design for Business Applications. 2007. URL: <https://richnewman.wordpress.com/2007/10/26/user-interface-design-for-business-applications/> (дата обращения: 10.02.2018).
- [28] *Krasner G.E., Pope S.T.* A cookbook for using the model-view controller user interface paradigm in Smalltalk-80 // Journal of Object-Oriented Programming. 1988. Vol. 1, issue 3. Pp. 26-49.
- [29] *Burbeck S.* Applications Programming in Smalltalk-80(TM): How to use Model-View-Controller (MVC). 1992. URL: <https://web.archive.org/web/20120729161926/http://st-www.cs.illinois.edu/users/smarch/st-docs/mvc.html> (дата обращения: 10.02.2018).



- [30] Fowler M. GUI Architectures. 2006. URL: <https://martinfowler.com/eaDev/uiArchs.html> (дата обращения: 10.02.2018).
- [31] ГОСТ Р 51765-2001. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Тестирование опытных образцов интерфейсного модуля в режиме оконечного устройства. Общие требования к методам контроля. М.: Госстандарт России. 2001. 35 с.

Поступила 10.12.2017; принята к публикации 10.02.2018; опубликована онлайн 30.03.2018.

## REFERENCES

- [1] GOST R 52070-2003. The interface is a backbone serial system of electronic modules. General requirements. Moscow: Gosstandart of Russia. 2003. 26 p. (In Russian)
- [2] MIL-STD-1553B Notice 4. Digital time division command/response multiplex data bus. Dod, 1996. 44 p.
- [3] Derek B. Introduction to the Mil-Std-1553B serial multiplex data bus. *Microprocessors and Microsystems*. 1988; 13(1):3-12. DOI: [https://doi.org/10.1016/0141-9331\(88\)90030-0](https://doi.org/10.1016/0141-9331(88)90030-0)
- [4] Kanchana G., Satish Kumar M. Avionics System Network with MIL-STD 1553B Bus. *IETE Journal of Research*. 1995; 41(5-6):291-295. DOI: <https://doi.org/10.1080/03772063.1995.11437265>
- [5] Moir I., Seabridge A., Jukes M. *Civil Avionics Systems* (2nd Edition). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2013. 608 p.
- [6] Spitzer C., Ferrell U., Ferrell T. *Digital Avionics Handbook* (Third Edition). Boca Raton, Florida: CRC Press, 2017. 848 p.
- [7] Merl R., Graham P. A low-cost, radiation-hardened single-board computer for command and data handling. *IEEE Aerospace Conference Proceedings*. Vol. 2016, June, art. no. 7500849. DOI: <https://doi.org/10.1109/AERO.2016.7500849>
- [8] Schönhoff A., Friedrich M., Harth K., Jarasch G., Momberg M., Schärer S., Wetteborn D. System design of the barracuda flight control system. *IFAC Proceedings Volumes*. 2007; 40(7):121-128. DOI: <https://doi.org/10.3182/20070625-5-FR-2916.00022>
- [9] Bobkov S.G., Serdin O.V., Arkhangelskiy A.I., Arkhangelskaja I.V., Suchkov S.I., Topchiev N.P. The Unification of Space Qualified Integrated Circuits by Example of International Space Project GAMMA-400. *Physics Procedia*. 2015; 74:224-231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2015.09.208>
- [10] Naidu C.D., Kishore P., Padma Sai Y., Ashok Kumar Reddy A. Design and implementation of low-power MIL-STD-1553B bus controller In: Satapathy S., Bhateja V., Chowdary P., Chakravarthy V., Anguera J. (eds) *Proceedings of 2nd International Conference on Micro-Electronics, Electromagnetics and Telecommunications. Lecture Notes in Electrical Engineering*, Springer, Singapore, 2018; 434:183-189. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4280-5\\_19](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4280-5_19)
- [11] Sushma K., Naidu C.D., Sai Y. Padma, Chandra K. Sarath. Design and Implementation of High Performance MIL-STD-1553B Bus Controller. *Proceedings of 2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference, (IACC)*. 2017. Pp. 266-269. DOI: <https://doi.org/10.1109/IACC.2017.0065>
- [12] Sourav B., Naidu C.D., Padma Sai Y., Kishore P. Design and Implementation of Remote Terminal for MIL-STD-1553 B. *Proceedings of 2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference, (IACC)*. 2017. Pp. 270-274. DOI: <https://doi.org/10.1109/IACC.2017.0066>
- [13] Gupta S., Raj R., Mathew A.M., Koshy A.P., Paramasivam R., Mookiah T. Mission Management Computer and Sequencing Hardware for RLX-TD HEX-01 Mission. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*. 2017; 98(6):725-729. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40032-017-0400-z>
- [14] Kappan Shona J., Vivekanand V. Avionic Data acquisition system using MIL STD 1553B controller with IRIG-B timecode decoder. *Proceedings of the International Conference on Circuits, Power & Computing Technologies (ICCPCT-2014)*. 2014. Pp. 1127-1133. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2014.7055047>
- [15] Savitha A., Desai K., Ravindra M., Sumith Shankar S., Chetwani R.R., Baradwaj K.M. Automated analysis of MIL-STD-1553B communication protocol test results. *Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Advanced Communications, Control and Computing Technologies*. 2014. Pp. 919-923. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICACCCT.2014.7019228>
- [16] Liu X., Hu X. Design and Implementation of IP Core for 1553B bus test. *Proceedings of 2015 10th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)* 2015. art. no. 7334219. Pp. 1608-1612. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2015.7334219>
- [17] Xie M., Zhang Y., Liu G.M. A 1553B remote terminal FPGA interface design based on BU61580. *Applied Mechanics and Materials*. 2014; 568-570:1155-1161. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.568-570.1155>
- [18] Zhou L., An J. Study on the low power technologies of 1553B bus. *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing, ICSPCC* 2013. art. no. 6663877. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSPCC.2013.6663877>
- [19] Chen D.-Q., Cao G.-H., Wang J.-H., Fan H.-L. Research on Key Technologies of Detecting 1553B Avionics Data Bus Network. *Defence Technology*. 2013; 9(3):176-180. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2013.09.019>
- [20] Wang L., Xu P., Liu B. The design of 1553B bus fault injection device and its implementation for BIT verification. *Proceedings of 2012 International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering (ICICEE)*. 2012. art.no.6322691. Pp. 1525-1528. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICICEE.2012.401>
- [21] Harin V.A., Demyanov P.Y., Mironov N.Y., Stenkin E.S. Advanced MIL-STD-1553B multiplex data bus tester and interface module. *Trudy NIISI RAN*. 2017; 7(2):61-73. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30562515> (accessed 10.02.2018). (In Russian)
- [22] Hetherington D. The VXIbus: an introduction. IEE Colloquium on Buses for Instruments: VXI and Beyond. 1989. Pp. 1/1 – 1/3. INSPEC ID: 3406954
- [23] Zaichenko S.N., Pertsovsky M.I. A new generation of mixed and dynamic modular information-measuring and telemetry systems in the VXI and LXI standards. *Automation in industry*. 2009; 7:3-10. Available at: <https://avtprom.ru/novoe-pokolenie-smeshannykh-i-dinamicheskikh> (accessed 10.02.2018). (In Russian)
- [24] Guriev D.E., Lyzlov V.E., Mironov N.Yu., Kharin V.A., Chikhichin D.A. The software of multiplex channel interfacing devices.



- Proceedings of the First International scientific-practical conference «Modern information technologies and IT-education»*. Edited by V.A. Sukhomlin. M.: Max-Press, 2005. Pp. 659-664. (In Russian)
- [25] Guriev D.E., Demyanov P.Yu., Kozachenko S.Yu., Laponina O.R., Mironov N.Yu., Kharin V.A., Chikhichin D.A. Development of an integrated control environment for channel-forming devices of on-board networks. *Proceedings of the Second International scientific-practical conference «Modern information technologies and IT-education»*. Edited by V.A. Sukhomlin. M.: Max-Press, 2006. Pp. 413-416. (In Russian)
- [26] Guriev D.E., Dushistov E.A., Safronov S.S., Chikhichin D.A. Tools for the development of an integrated control environment for the channel-forming equipment of airborne networks. *Proceedings of the Third International scientific-practical conference «Modern information technologies and IT-education»*. Edited by V.A. Sukhomlin. M.: Max-Press, 2008. Pp. 321-332. (In Russian)
- [27] Newman R. User Interface Design for Business Applications. 2007. Available at: <https://richnewman.wordpress.com/2007/10/26/user-interface-design-for-business-applications/> (accessed 10.02.2018).
- [28] Krasner G.E., Pope S.T. A cookbook for using the model-view controller user interface paradigm in Smalltalk-80. *Journal of Object-Oriented Programming*. 1988; 1(3):26-49.
- [29] Burbeck S. Applications Programming in Smalltalk-80(TM): How to use Model-View-Controller (MVC). 1992. Available at: <https://web.archive.org/web/20120729161926/http://st-www.cs.illinois.edu/users/smarch/st-docs/mvc.html> (accessed 10.02.2018).
- [30] Fowler M. GUI Architectures. 2006. Available at: <https://martinfowler.com/eaDev/uiArchs.html> (accessed 10.02.2018).
- [31] GOST R 51765-2001. The interface is a backbone serial system of electronic modules. Testing prototypes of the interface module in terminal mode. General requirements for control methods. Moscow: Gosstandart of Russia. 2001. 35 p. (In Russian)

Submitted 10.12.2017; Revised 10.02.2018; Published 30.03.2018.

### About the authors:

**Dmitry E. Gouriev**, researcher, Laboratory of Open Information Technologies, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University (1, Leninskie gory, Moscow 119991, Russia); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1093-108X>, [gouriev@oit.cmc.msu.ru](mailto:gouriev@oit.cmc.msu.ru)

**Olga R. Laponina**, researcher, Laboratory of Open Information Technologies, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University (1, Leninskie gory, Moscow 119991, Russia); ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5903-6858>, [laponina@oit.cmc.msu.ru](mailto:laponina@oit.cmc.msu.ru)

**Nikolai U. Mironov**, Head of department of specialized microelectronics, Joint-stock company Research Centre «Module» (3, 4-th Street 8 March, Moscow 125167, Russia); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0963-4475>, [mironov@module.ru](mailto:mironov@module.ru)

**Petr U. Demyanov**, Chief Specialist of department of specialized microelectronics, Joint-stock company Research Centre «Module» (3, 4-th Street 8 March, Moscow 125167, Russia); ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8416-3656>, [demyanov@module.ru](mailto:demyanov@module.ru)



This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License which unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited (CC BY 4.0).