

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИМИТАТОРА БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ КА «КАНОПУС-В» № 1 И БЕЛОРУССКОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

С.Н. Сергеев
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

Рассматриваются достоинства применения имитаторов. Приводится схема узлов/зон имитатора бортового комплекса управления КА «Канопус-В» № 1 и Белорусского космического аппарата, их организация по мультиплексному каналу обмена и технологической сети Ethernet. Описываются принципы взаимодействия и централизованного управления моделью в интерактивном и полуавтоматическом режимах на основе разработанного испытательного языка «Вулкан».

***Ключевые слова:** имитатор, космический аппарат, гибридная модель, бортовое оборудование, испытательный язык, реальный масштаб времени, испытания программного обеспечения, автоматический анализ информации.*

Введение

Логика функционирования бортовой аппаратуры постоянно усложняется, и, как следствие, возрастает объём наземных отработочных испытаний бортового комплекса управления (БКУ).

Опыт разработки КА «Коронас-Фотон» показал, что основной объём работ приходится на отработку отдельных узлов и систем КА, а также на наземные отработочные испытания.

Разработка, внедрение и использование имитаторов систем КА, которые можно назвать программными моделями, на всех этапах его жизненного цикла являются наиболее простым и эффективным способом сокращения стоимости, сроков отработки отдельных узлов и систем КА, а также повышения эффективности наземной отработки КА в целом. Как показала практика создания КА «Канопус-В» № 1 и Белорусского космического аппарата (БКА), разработка и испытания которых проводились в условиях международной кооперации специалистами разных государств, использование имитаторов систем КА в ряде случаев является единственным доступным средством достижения указанных выше целей.

При этом применение имитаторов систем и программного обеспечения (ПО) имитаторов КА не является полной заменой штатных испытаний. Эффективность использования имитаторов по целевому назначению во многом зависит от того, насколько достоверно заложенные в них модели будут отражать моделируемый объект. Вместо программных моделей возможна разработка уникального дорогостоящего оборудования. Использование контрольно-проверочной аппаратуры функционально ограничено и не ориентировано на взаимодействие и централизованное управление всеми устройствами системы, что необходимо при комплексных проверках.

Достоинства применения имитаторов:

- возможность моделирования нестандартного оборудования;
- возможность создания гибридных моделей;
- возможность создания реальной инфраструктуры обменов;
- снижение риска выхода из строя штатного оборудования;
- распараллеливание процессов испытаний и выпуска реального оборудования.

При работе бортового оборудования на наиболее надёжной и распространённой шине мультиплексного канала обмена (МКО) [1] использование альтернативных средств моделирования и проверок (осциллограф, тестер и т. д.) ограничено во времени и уступает по функциональным возможностям программе мониторинга шины.

Для отладки и проверки программного обеспечения бортовой вычислительной системы (БВС) КА «Канопус-В» № 1 и БКА был разработан единый имитатор.

Модель имитатора бортового комплекса управления

Данная модель состоит из функциональных узлов, разделённых по логике своей работы и расположенных на разных вычислительных машинах. В модель входит аналог бортовой шины обмена и технологическая связь для взаимодействия и централизованного управления с использованием разработанного нами мнемонического языка моделирования процессов «Вулкан».

Возможности модели не ограничены, и могут быть расширены подключением динамических библиотек. На каждом узле модели обеспечена регистрация событий.

Наглядность модели отвечает современным представлениям о технологии визуализации информации (таблицы, графики, индикаторы и т. п.).

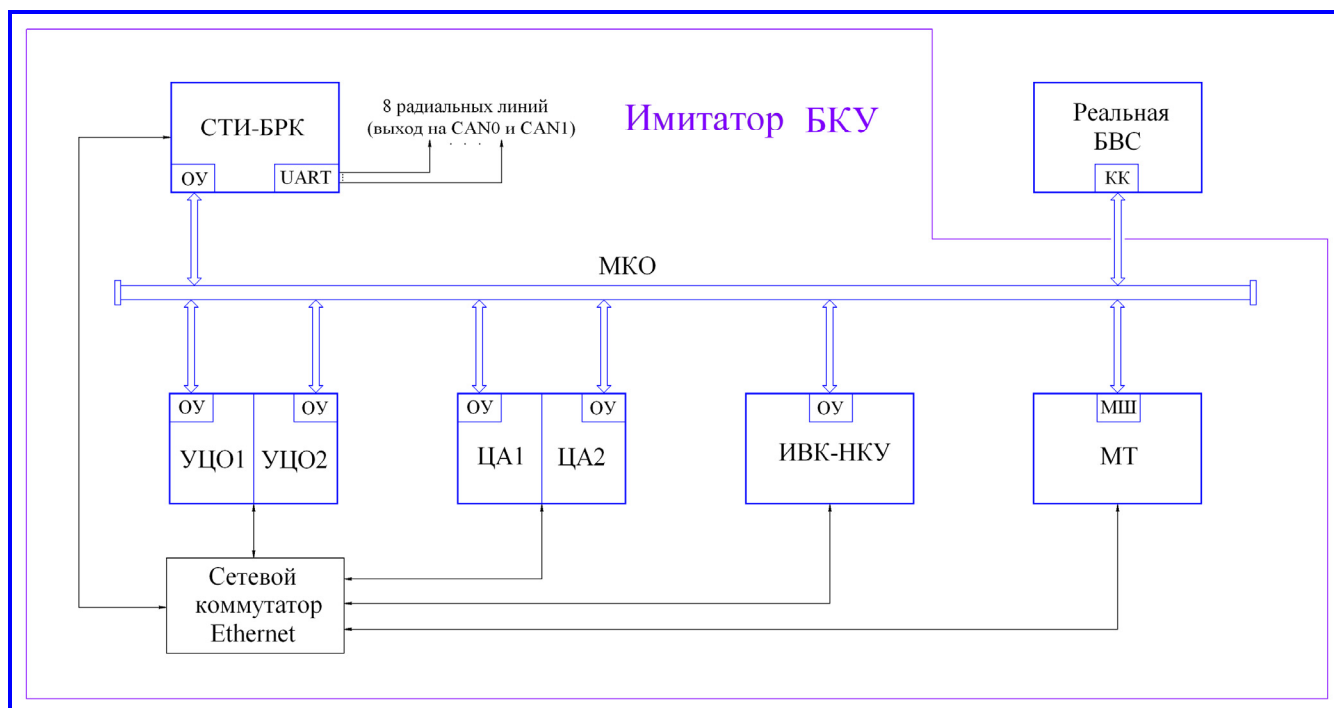


Рис. 1. Схема узлов/зон динамической модели

Программное обеспечение имитатора БКУ реализовано на пяти персональных компьютерах (рис. 1) и разделено на логические узлы/зоны:

- систему телеметрических измерений с блоком выдачи разовых команд (СТИ-БРК);
- узел цифровой обработки (УЦО) (два комплекта);
- целевую аппаратуру (ЦА) (два комплекта);
- испытательно-вычислительный комплекс и наземный комплекс управления (ИВК-НКУ);
- программу мониторинга (МТ) шины.

Функции БВС выполняет реальная машина (технологическая или штатная), подключаемая к имитатору по МКО.

Взаимодействие узлов организовано по МКО, где БВС является контроллером канала (КК), а узлы СТИ-БРК, УЦО1, УЦО2, ЦА1, ЦА2, ИВК-НКУ – оконечными устройствами (ОУ). МТ работает в режиме монитора шины (МШ).

Имитатор СТИ-БРК оснащён интерфейсом UART для взаимодействия с оборудованием фирмы SSTL (выдача разовых команд из блока БРК).

Технологическая связь компьютеров имитатора реализована средствами локальной вычислительной сети (Ethernet) через сетевой коммутатор. Локальная сеть объединяет следующие компьютеры: МТ, СТИ-БРК, УЦО, ЦА, ИВК-НКУ. Имитаторы УЦО, ЦА и ИВК-НКУ, расположенные на разных компьютерах, образуют единый программно-

аппаратный комплекс и взаимодействуют через Ethernet по технологии DCOM (Distributed Component Object Model – модель объектных компонентов) [2]. Имитаторы СТИ-БРК и ИВК-НКУ, МТ и ИВК-НКУ взаимодействуют по специализированному протоколу уровня приложения модели OSI (Open System Interconnection – взаимодействие открытых систем), реализованного средствами TCP/IP.

В зонах ИВК-НКУ и МТ осуществляется декодирование и автоматический анализ массивов информации обратного канала (ИОК), телеметрической информации (например выход значения параметра за пределы допустимого; изменение значения параметра; некорректное время между событиями с фиксированным допуском исполнения; отсутствие события из серии связанных событий; наличие лишнего события в серии заведомо определённых событий и т. п.).

Централизованное управление осуществляется с компьютера ИВК-НКУ, работающего в интерактивном и полуавтоматическом режимах на испытательном языке «Вулкан» (на русском и английском языках).

Этот язык позволяет в реальном масштабе времени выдавать командно-программную информацию (КПИ), разовые команды (РК), управляющие команды для узлов модели с заданными интервалами относительно друг друга с точностью до 1 мс,

осуществлять ввод/вывод в протокол, комментировать текст испытательной инструкции.

Рассмотрим пример формирования КПИ на основе мнемонического обозначения фразы КПИ № 1 – установку кода бортовой шкалы времени (БШВ):

«БШВ установить сутки 1 время 02:15:00;».

На основе данной строки будет сформирована фраза КПИ, после исполнения которой к бортовому времени будет прибавлена дельта равная 1 сут. 2 ч 15 мин.

Пример выдачи РК выглядит следующим образом:

«РК выдать 65;».

В результате исполнения данной команды БВС будут сформированы фразы массива ИОК1 и переданы в УЦО.

Язык оснащён возможностью блочного комментирования. Комментируемый фрагмент текста обрамляется фигурными скобками и не рассматривается при компиляции текста испытательной инструкции:

«{Блочный комментарий}».

На машине ИВК-НКУ осуществляется запись

событий в узлах имитатора и управляющих воздействий от самой модели (рис. 2). Информация протоколируется в формате языка гипертекстовой разметки HTML (HyperText Markup Language), что позволяет перемещать результирующие файлы на компьютеры другой архитектуры и просматривать стандартными средствами браузеров (Explorer, Opera).

При необходимости возможно создание нового файла для записи протокола управляющей командой:

«NewLog;».

События на шине МКО фиксируются и записываются в отдельный протокол компьютера МТ.

Для вывода информации из испытательной инструкции в протоколы работ модели перед выводимым сообщением ставится апостроф:

«'вывод текста в протокол».

На компьютерах ИВК-НКУ и МТ вычисляется БШВ. Значение БШВ увеличивается на единицу каждую секунду и синхронизируется выдачей БШВ в ОУ (СТИ, УЦО1, УЦО2, ИВК). Для синхронизации кода БШВ, вычисляемого в модели с бортовым временем, достаточно задать КПИ на выдачу кода времени в одно из ОУ:

«БШВ выдать ОУ 1;».

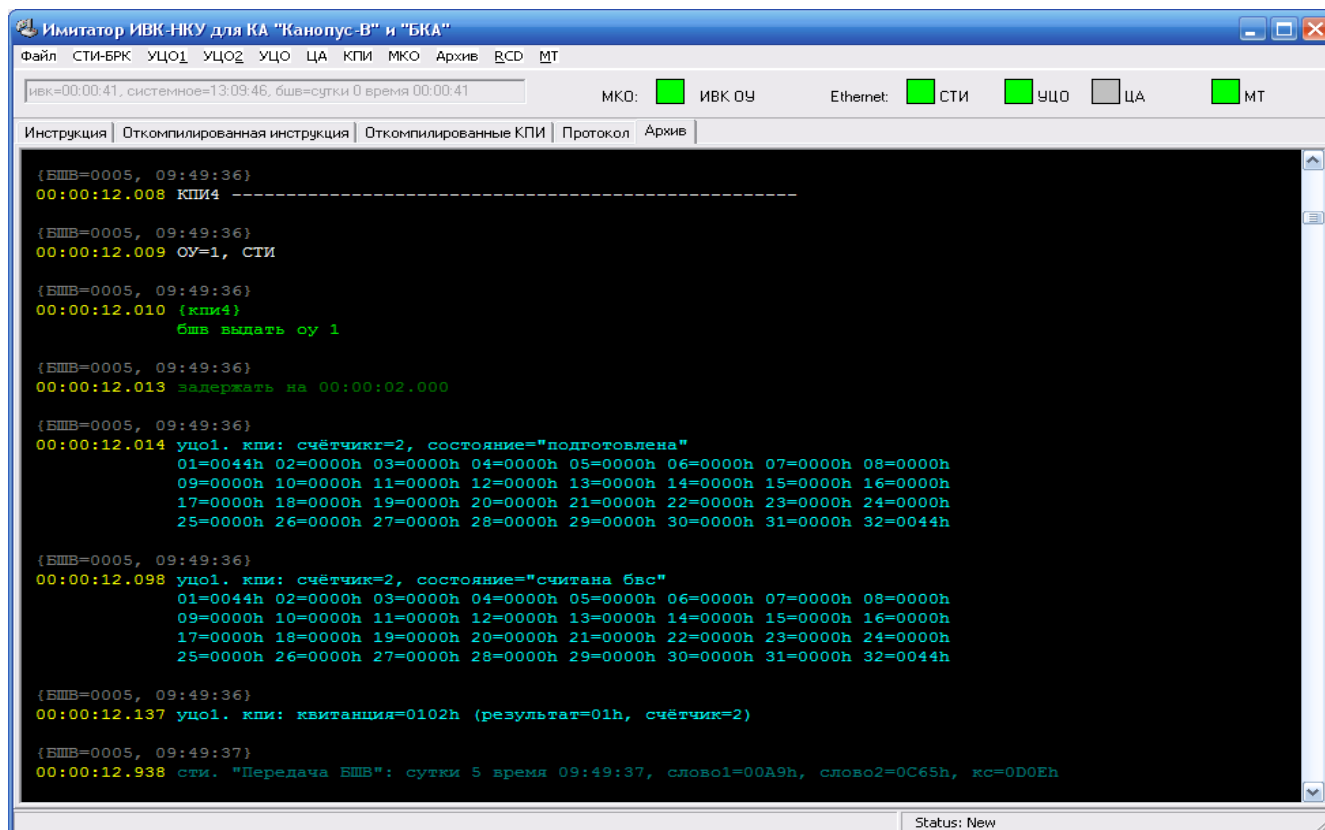


Рис. 2. Просмотр архива

При выполнении данной КПИ БВС передаст на адрес МКО равный 00001 (адрес СТИ) текущее значение БШВ.

Вычисляемый код времени БШВ визуализируется, вносится в протокол. Код можно использовать в составе инструкции в качестве аргумента (ВР_БШВ):

«задержать_ на 9:10:00-ВР_БШВ;».

Задержка выполнения инструкции по данной конкретной команде осуществляется до 9 ч 10 мин по БШВ при условии, что это время не прошло. Такая конструкция позволяет задерживаться до определённого момента времени, что может быть полезно при ожидании события, происходящего в заданный момент времени по БШВ (например выдача программных команд (ПК), запуск циклограмм, исполнение массива полётного задания и т. п.).

ИВК-НКУ и МТ производят отсчёт собственного времени с точностью до миллисекунды и микро-секунды соответственно. Время МТ используется для привязки событий на шине МКО. Время ИВК, как и время БШВ, вносится в протокол, его можно использовать в составе инструкции в качестве аргумента (константа ВР_ИВК), и оно устанавливается следующей управляющей командой:

«ИВК время установить 0;».

В данном примере производится обнуление времени ИВК.

Имитатор позволяет моделировать нештатное поведение бортовой аппаратуры для проверки алгоритмов программного обеспечения БВС.

Рассмотрим пример выдачи ПК в СТИ.

В соответствии с протоколом информационного обмена по МКО для выдачи ПК БВС передаёт в СТИ по формату 1 основных сообщений МКО: два 16-разрядных слова – код команды и контрольную сумму. Затем через 200 мс БВС считывает из СТИ по формату 2: два 16-разрядных слова – код команды и квитанцию. Если квитанция «отрицательна» (не равна нулю), то БВС должна повторить выдачу ПК в СТИ.

В испытательный язык введена следующая управляющая команда:

«СТИ ПК квитанция 65535;».

В результате исполнения данной управляющей команды имитатор СТИ-БРК на поступившую ПК

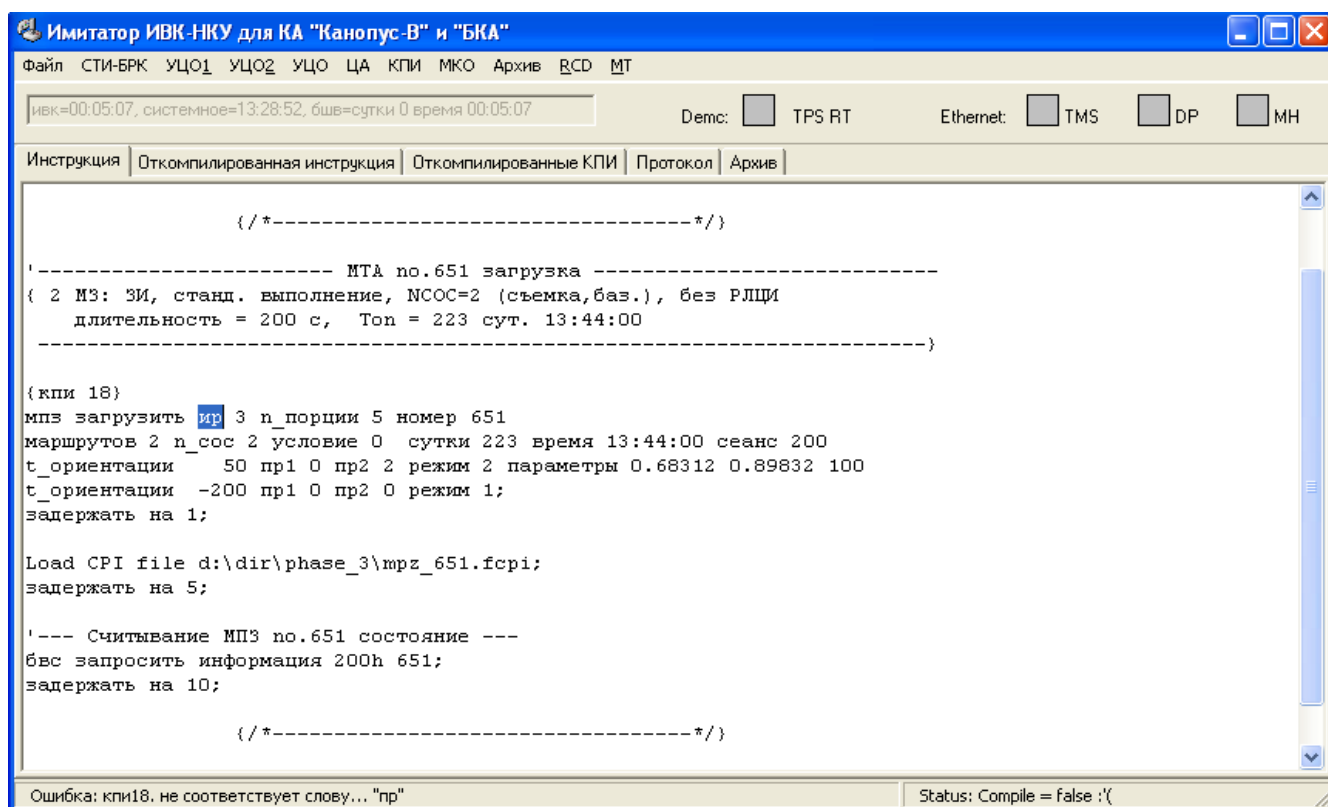


Рис. 3. Вид главного окна при обнаружении ошибки компиляции

подставит в квитанцию значение 65535 (отрицательная квитанция), а БВС в свою очередь повторит выдачу ПК. Для возобновления штатной работы имитатора СТИ-БРК в значение квитанции необходимо подставить ноль.

Инициирование подобной ситуации с проверкой алгоритма работы БВС невозможно на реальном оборудовании.

Интерактивная работа с моделью

Испытательные инструкции записываются и хранятся на жёстком диске компьютера ИВК-НКУ в текстовом виде (файлы с расширением txt).

Компьютер ИВК-НКУ оснащён многострочным текстовым редактором испытательных инструкций, в который загружаются ранее созданные инструкции или создаются новые с возможностью последующего сохранения. Для создания испытательных программ допустимо применение и другого внешнего текстового процессора, например, Блокнот или WordPad.

Для того, чтобы исполнить инструкцию, загружённую или созданную в редакторе, её необходимо откомпилировать. При обнаружении ошибки компиляции текст ошибки будет отображён в строке состояния главного окна (нижний левый угол), а предмет ошибки будет выделен по тексту (рис. 3).

При успешной компиляции сделается активным поле «Откомпилированная инструкция», в него поместится отформатированный текст инструкции с нумерацией команд, в отдельное поле «Откомпилированные КПИ» будут помещены фразы КПИ в двоичном виде, если они содержатся в инструкции.

Программное обеспечение управляющей зоны ИВК-НКУ включает в себя систему исполнения испытательных программ.

После успешной компиляции инструкция готова к выполнению системой исполнения испытательных программ. Исполнение испытательной программы можно начать сначала или с любой команды инструкции, установив предварительно точку пуска. В системе также предусмотрена возможность принудительного останова и продолжения исполнения выполняющейся инструкции.

Рассмотрим пример интерактивной выдачи БШВ в заданное ОУ.

В главном меню программы необходимо выбрать пункт КПИ, затем КПИ4 – «Выдача БШВ в ОУ». В появившемся окне (рис. 4) заполнить поле «Адрес ОУ»,

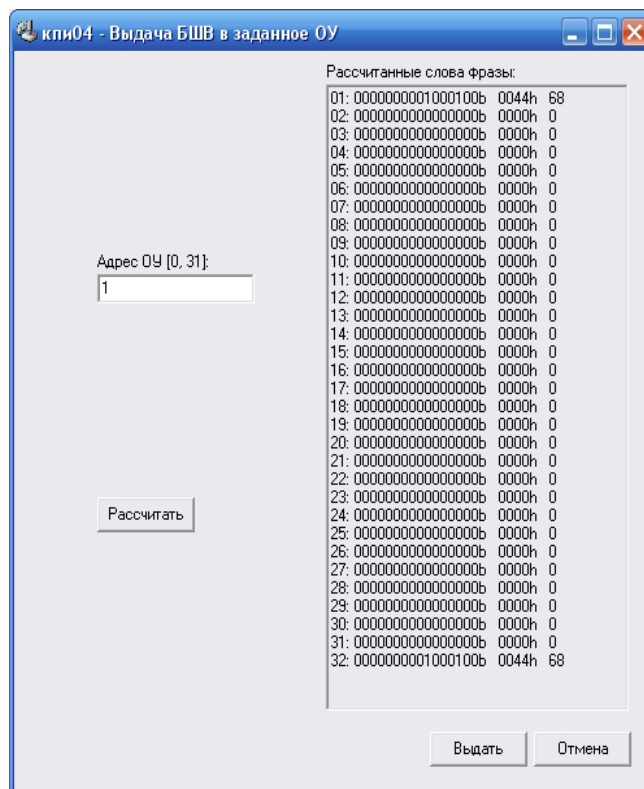


Рис. 4. Окно для выдачи фразы КПИ4

значением от 0 до 31, нажать «Рассчитать». Если введённое значение будет неверным, выведется сообщение об ошибке. При корректном вводе адреса в область «Рассчитанные слова фразы» будет добавлена фраза КПИ в двоичном, шестнадцатеричном и десятичном виде с пронумерованными словами. Исполнение фразы производится по команде «Выдать».

Выводы

Разработанный имитатор БКУ КА «Канопус-В» № 1 и БКА обеспечил:

- уменьшение потребления ресурса-часов штатной аппаратуры КА, затраченных на наземные испытания;
- снижение риска выхода из строя штатного оборудования;
- возможность проверки алгоритмов ПО, которые не могут быть смоделированы на штатном оборудовании;
- не только проверку, но и отладку ПО БВС.

Применение имитатора даёт возможность моделирования и отработки заданий для КА на земле перед закладкой на борт. Модифицированный имитатор может быть использован для КА следующих поколений.

Литература

1. ГОСТ Р 52070 – 2003. Интерфейс магистральной последовательности системы электронных модулей. Общие требования.– Введ. 31.12. 2003. – М. : ИПК Изда-

тельство стандартов, 2003. – 27 с.

2. Елманова Н. Delphi и технология СОМ / Н. Елманова, С. Трепалин, А. Тенцер. – СПб. : Питер, 2003. – 698 с.

Поступила в редакцию 08.02.2011

*Сергей Николаевич Сергеев, инженер, т. 8-(964)-702-40-07,
e-mail: sergey.nik.sergeev@mail.ru.*