

**Подходы к разработке программного обеспечения имитационного оборудования
стендов полунатурного моделирования**

Беньковский Владислав Андреевич

бакалавр, ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)» (МАИ)¹.

E-mail: benkovskiiivlad@mail.ru.

Волков Илья Юрьевич

начальник бригады АО ПСК «МиГ»².

E-mail: ib356_rsk@inbox.ru.

Новиков Илья Андреевич

инженер второй категории АО ПСК «МиГ»².

E-mail: baronzz@mail.ru.

Хачикян Владимир Александрович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент,
ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»¹.

E-mail: zaktol@yandex.ru.

¹Адрес: 125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4.

²Адрес: 125284, Москва, 1-й Боткинский проезд, 7.

Аннотация: Рассмотрены общие подходы к разработке стендов полунатурного моделирования в части программного обеспечения имитационного оборудования на примере отработки бортового радиоэлектронного оборудования авиационной техники. Даны рекомендации по организации синхронизация работы в распределённой вычислительной сети. Данные подходы к разработке программного обеспечения имитационного оборудования обеспечивают широкие возможности проведения исследований алгоритмического и программного обеспечения пилотажных и навигационных систем в режимах полунатурного моделирования, имитирующих виртуальные полёты самолёта на всех этапах, от взлёта до посадки. Они позволяют значительно снизить затраты, связанные с аппаратной составляющей данного вида стендов за счёт унификации интерфейсов взаимодействия с устройствами сопряжения. Таким образом, получен подход к моделированию стендов полунатурного моделирования для любой из отраслей машиностроения.

Ключевые слова: стенд полунатурного моделирования, авиационная техника, распределённые системы вычислений.

В настоящее время разработка и модернизация вооружения военной и специальной техники, относящегося к авиации, артиллерии, танковым войскам, военно-морскому флоту требует участия большого количества разработчиков, участвующих в создании программного и аппаратного обеспечения отдельных систем. При проведении совместных работ для комплексной отладки работы систем, проведения оценки различных свойств разрабатываемой техники (эффективность применения, эргономическая оценка и прочее) используются стенды

полунатурного моделирования. Такие стенды являются мощным инструментом отработки работы систем конечного изделия на всех этапах [1,2].

Пример такого стенда изображен на рис. 1.

За годы работы в данной сфере сложилась определённая рабочая практика создания данных стендов, однако методология данного процесса практически не освещена в научной литературе. В данной статье описан эффективный метод создания программного обеспечения стендов полунатурного моделирования.

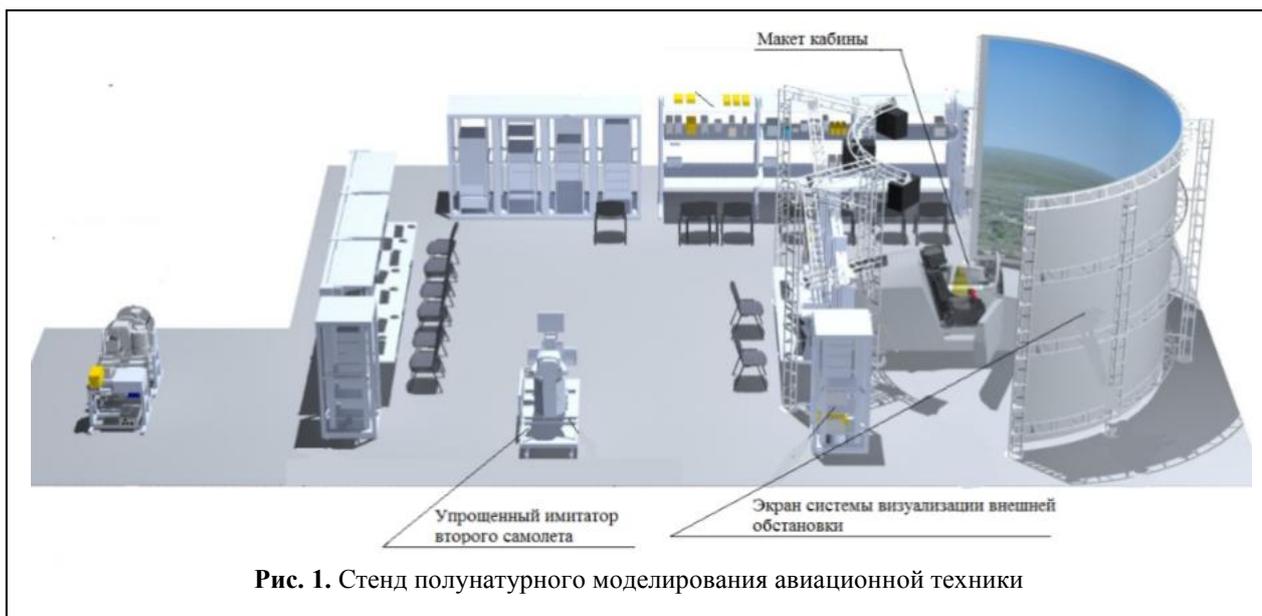


Рис. 1. Стенд полунатурного моделирования авиационной техники

Исходя из практического опыта всё составляющее оборудование стендов условно можно разделить на:

- имитационное оборудование (имитаторы, вычислительный комплекс и т.д.);
- реальные системы и блоки.

Состав оборудования стенда напрямую зависит от типа объекта. Так, например, бортовое радиоэлектронное оборудование (БРЭО) бомбардировщика будет отличаться от БРЭО транспортного самолёта. Для сравнения схематично изобразим структуры данного оборудования для самолёта дальнего обнаружения и

истребителя [3] (см. рис. 2 и рис. 3).

Несмотря на то, что структуры БРЭО значительно отличаются друг от друга, используемые интерфейсы обмена между различными блоками систем, в целом, одинаковы и стандартизированы. Такими интерфейсами являются: ARINC-429 (ГОСТ 18977-79), MIL-STD-1553 (ГОСТ Р 52070-2003), CAN BUS, RS-232 и другие[4,5]. Сети обмена данными, построенные на основе их использования, получили название бортовых сетей обмена (в авиационной сфере) [6].

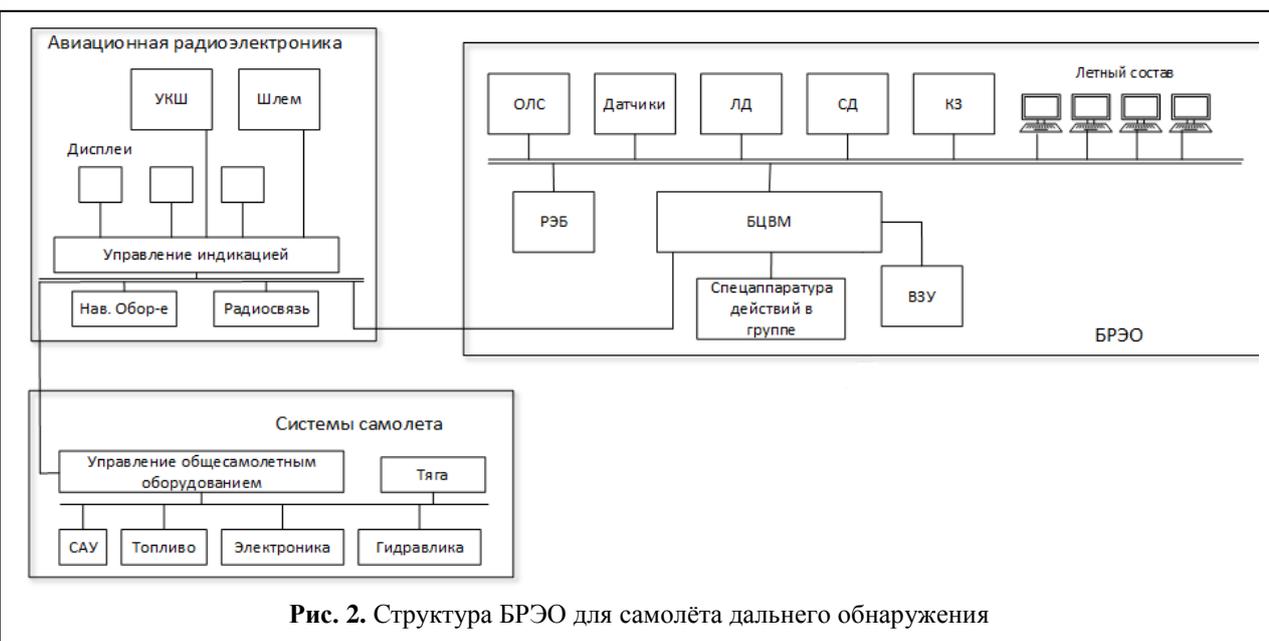


Рис. 2. Структура БРЭО для самолёта дальнего обнаружения

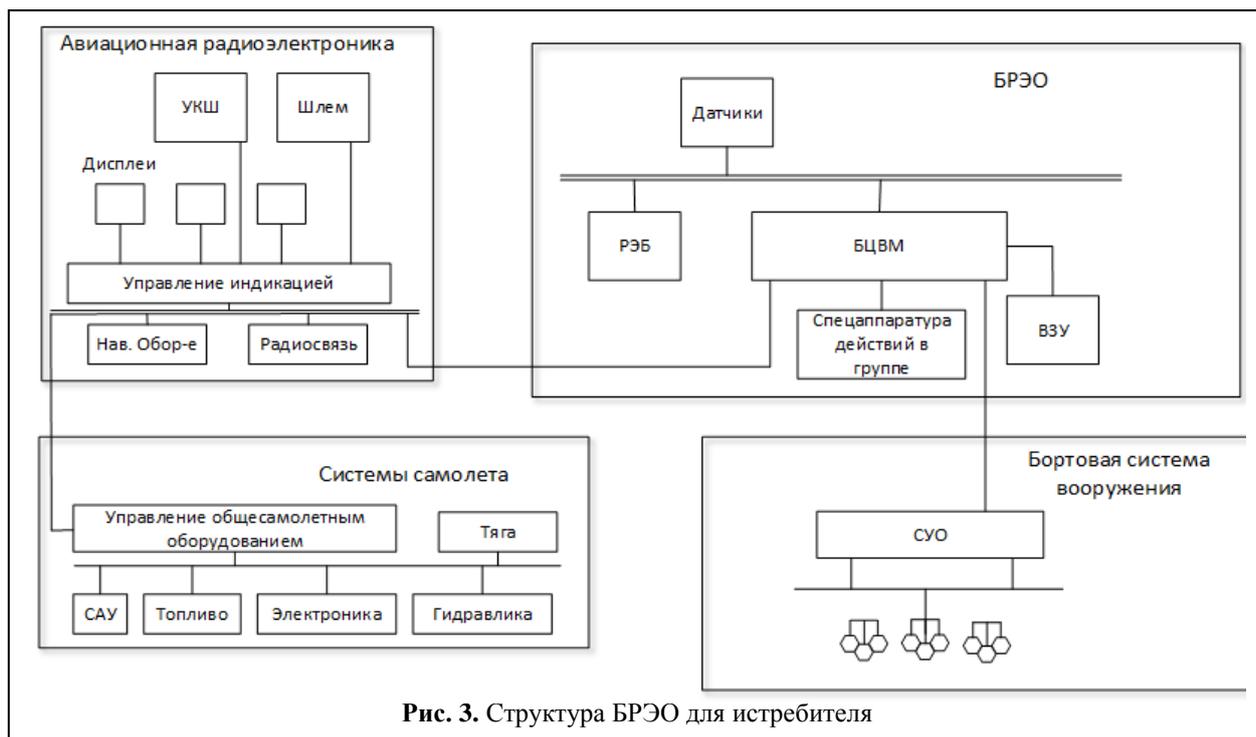


Рис. 3. Структура БРЭО для истребителя

Для построения вычислительной сети в целях снижения затрат на разработку аппаратной части стенда используются промышленные компьютеры. Для их сопряжения с бортовыми сетями обмена необходимо применять специальное оборудование. Например, на рис. 4 изображено устройство сопряжения с шиной стандарта MIL-STD-1553 (в русской литературе МКИО), выполненное в виде PCI-платы TE6-PCI.

Функциональное программное обеспечение (ПО), необходимое для работы стенда, можно разделить на следующие категории:

А) ПО, осуществляющее работу с устройствами сопряжения;

В) ПО, осуществляющее математическое



Рис. 4. Плата TE6-PCI

моделирование работы конкретных систем и внешней обстановки;

С) сервисное ПО (например, осуществляющее контроль за работой проекторов системы визуализации).

К данному ПО предъявляются следующие требования[7]:

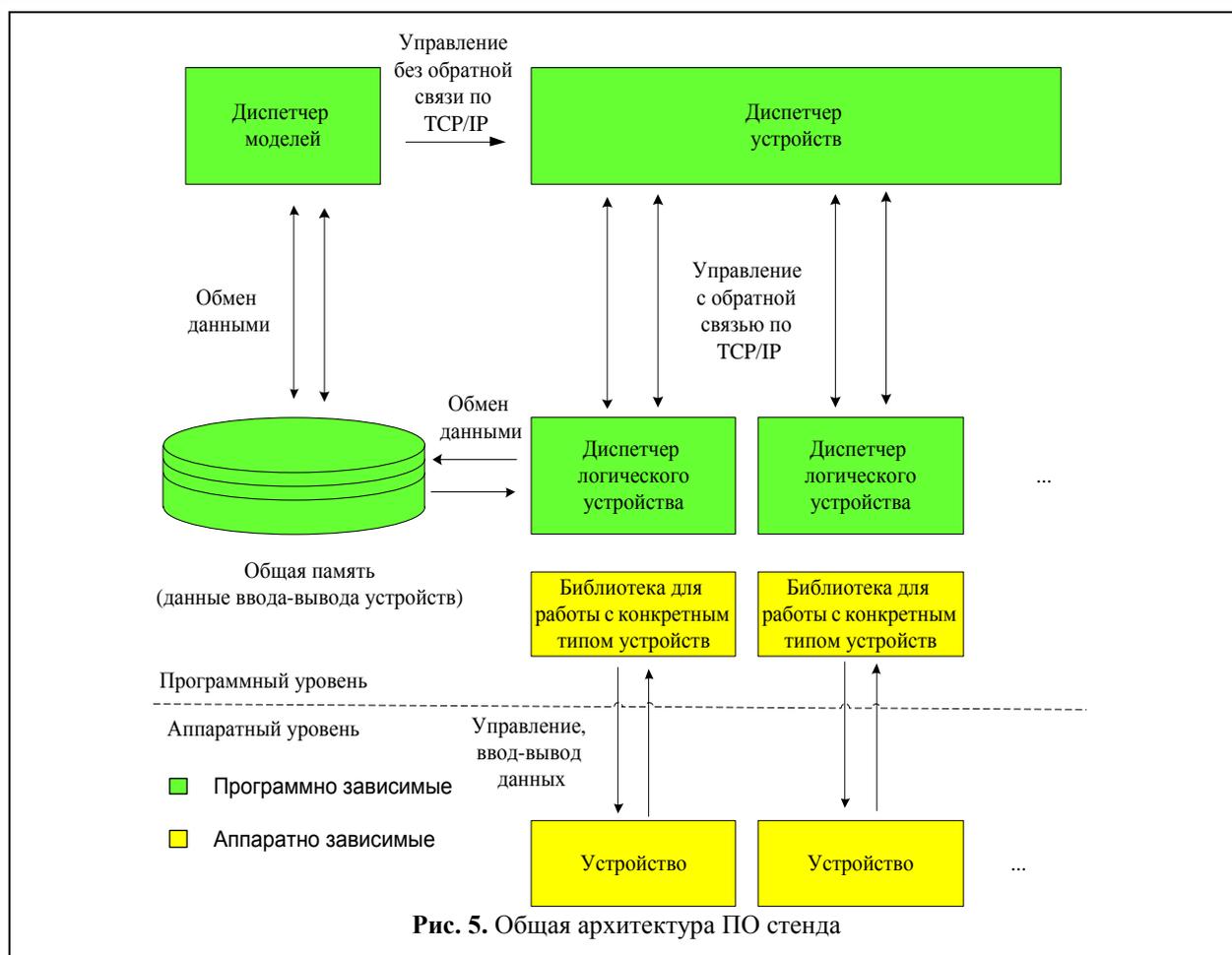
- масштабируемость: должна быть предусмотрена возможность расширения вычислительной сети (добавление новых компьютеров);

- наращиваемость: добавление новых моделей систем и подключение их к бортовым сетям обмена через дополнительные устройства сопряжения;

- взаимозаменяемость: должна быть предусмотрена возможность использования разных устройств сопряжения сходного назначения без значительных доработок ПО (например, устройств от разных производителей).

При разработке ПО типа А и В следует использовать архитектуру, представленную на рис. 5. Приведём описание данной архитектуры.

ПО типа А состоит из следующих приложений:



1) диспетчер для работы с конкретным логическим устройством, который должен быть отдельным приложением:

а) во-первых, для работы с конкретной моделью устройства необходим свой набор функций;

б) во-вторых, данное разделение продиктовано особенностями работы с устройством, так, например, одновременная работа в одном процессе с несколькими платами МП-1553 ТЕ-6 (производство ЗАО ЭЛКУС) невозможна;

2) диспетчер устройств предназначен для централизованного управления приложений, работающих с устройствами сопряжения, так как управление с обратной связью по TCP-IP гарантирует доставку пакетов и содержит механизмы для контроля открытия/закрытия канала связи [8].

Обмен данными осуществляется через общую память, так как данный способ межпроцессного взаимодействия является наиболее простым и быстрым. При данной реализации также может быть предусмотрена возможность внешнего управления диспетчером устройств.

Диспетчер устройств должен обладать графическим интерфейсом пользователя, позволяющим осуществлять управление и контролировать текущее состояние работы устройств. Возможный вариант его реализации представлен на рис.6.

На рис. 6 отмечены цифрами следующие элементы:

1) Дерево (1) установленных на компьютере устройств: дерево заполняется при запуске приложения, выбор устройства производится щелчком мыши на соответствующем узле дерева.

2) Таблица (2) отображает текущий статус процесса, осуществляющего работу с устройством.

3) Кнопки (3) позволяют управлять процессом, осуществляющим работу с устройством (запуск, завершение, принудительное аварийное завершение).

4) Таблица (4) отображает свойства устройства, полученные при инициализации (например, версию прошивки или адреса портов ввода-вывода).

5) Внешний вид элементов управления (5) – (7) зависит от типа устройства. Так, на рисунке изображен его вид для адаптеров интерфейса MIL-STD-1553.

6) Список (5) позволяет произвести выбор оконечного устройства (ОУ) с определённым адресом (от 1 до 31). После выбора кнопка (6) позволит включить/отключить ОУ в режиме “Ручное управление”.

7) Таблица (7) позволяет просматривать данные подадресов ОУ.

Основными проблемами для работы ПО типа В являются следующие:

- передача данных о состоянии основного объекта моделирования и различных параметров тактического окружения (например, положение целей в пространстве) к имитаторам систем, моделируемых на других компьютерах вычислительной сети;

- синхронизация произведения вычислений и выдача результатов моделирования в бортовые системы обмена [9].

Для организации обмена данными между ЭВМ, гарантирующими скорости, близкие к реальному времени используются дорогие технологии. Например, такие, как рефлексивная память.[10]

Но так как объёмы данных, передаваемых между компьютерами вспомогательной сети, относительно невелики, можно использовать сеть Ethernet. При этом обмен данных и синхронизация вычислений могут быть объединены по схеме, описанной ниже (см. рис. 7).

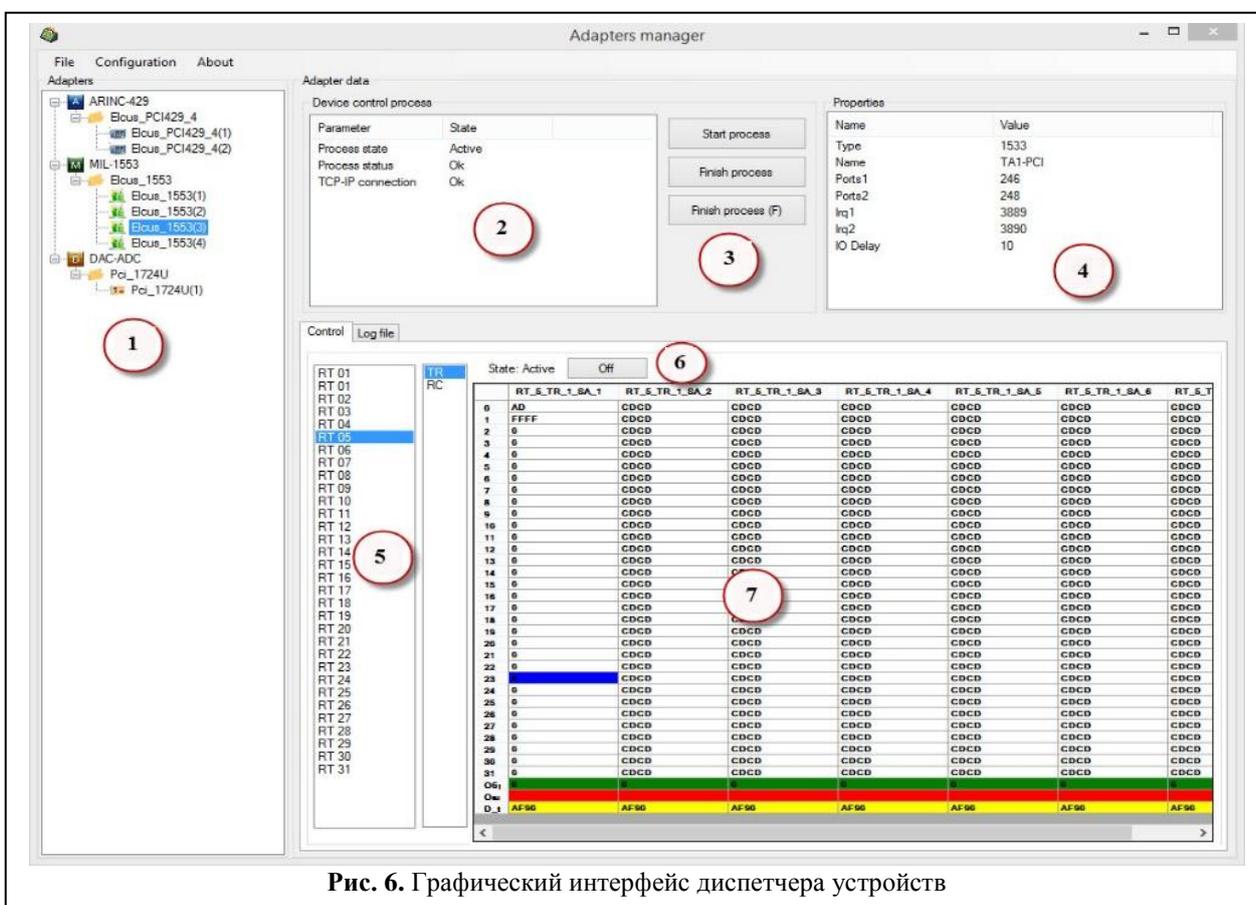


Рис. 6. Графический интерфейс диспетчера устройств

Центральный компьютер (далее ЦК) производит расчёт моделей самолёта и основных его систем. ЦК выбирается в качестве основного и ход вычислений на других компьютерах управляется им. ЦК является TCP-IP сервером, к которому подключаются клиенты с других компьютеров после начала работы и ожидают сообщение от него.

После старта процесса моделирования ЦК посылает сообщение с параметрами самолёта в начальный момент времени на все компьютеры вычислительной сети, производит вычислительный шаг и ожидает ответных сообщений от других компьютеров. Другие компьютеры по получению данных от ЦК производят вычислительные шаги и посылают признак окончания работы. По получении сообщения от всех компьютеров и по прошествии 20 мс (измерения осуществляются от системного таймера) цикл повторяется.

Данную схему можно сделать более отказоустойчивой, добавив возможность асинхронной работы:

– вычисления на ЦК ведутся независимо от получения сообщений от других компьютеров,

в случае превышения лимита в 20 мс на шаг, отсутствие ответа в течении 2 тактов трактуется, как отказ отвечающей системы и приводит к закрытию соединения;

– вычисления на других компьютерах также проводятся принудительно, при превышении лимита в 20 мс, в этом случае в качестве данных о состоянии самолёта и целевой обстановки берутся экстраполированные значения (экстраполируется положение самолёта с текущим значением вектора скоростей и ускорений). Отсутствие ответа от ЦК в течении 2 тактов трактуется как отказ и приводит к закрытию соединения с последующей попыткой повторного подключения.

Данные, которые необходимо передавать от ЦК к другим компьютерам представлены в таблице 1.

В ходе создания стенда полунатурного моделирования ПО категорий А и В было разработано согласно архитектуре, описанной выше. При передаче данных, указанных в таблице 1, в ходе эксперимента интервал между вызовами моделей с ЦК и получения от них отклика составил менее 20 миллисекунд (см. рис. 8).

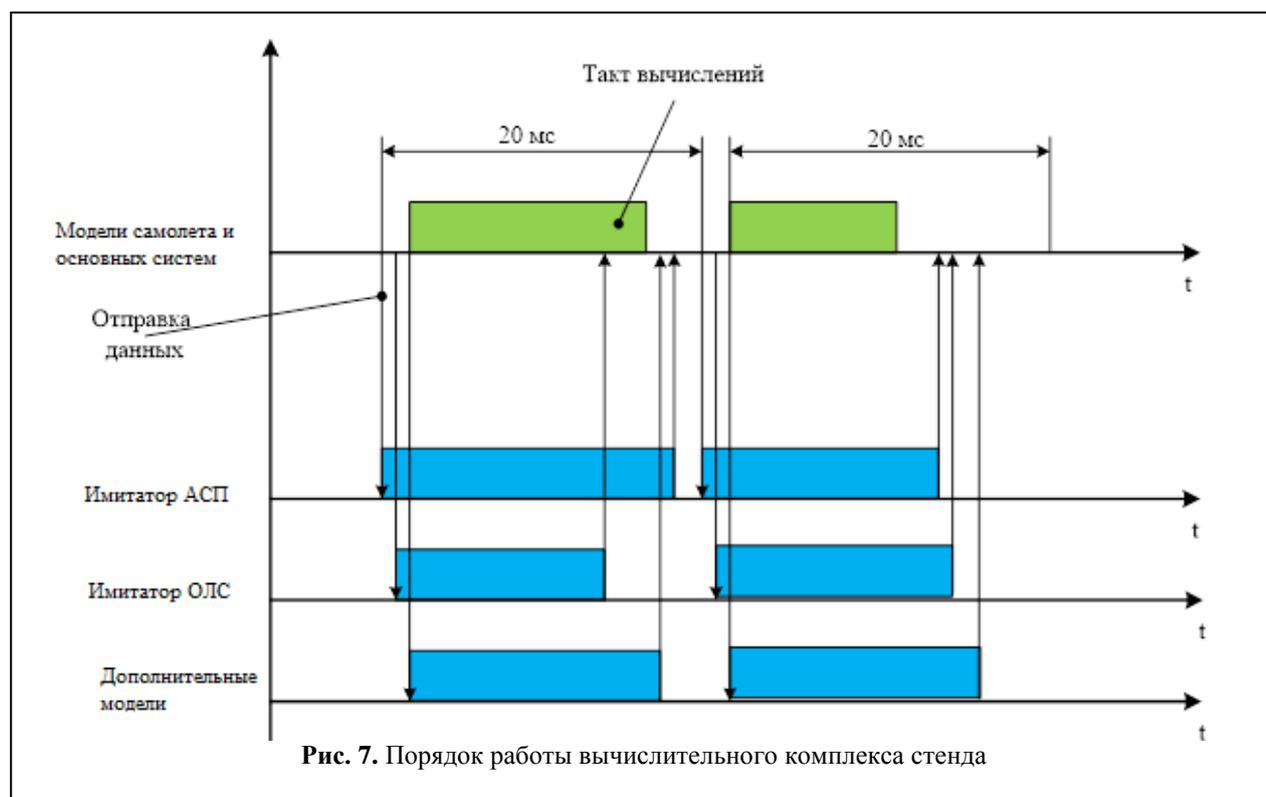


Рис. 7. Порядок работы вычислительного комплекса стенда

Таблица 1 – Данные, предоставляемые от ЦК к другим компьютерам

Система	Параметр	Тип данных	Размер (байт)
Макет кабины	Состояние органов управления (нажатие кнопок, переключателей, положение РУД и РУС)	Структура общим размером около 30 байт	30
Двигатель	Обороты левого двигателя	unsigned __int8	1
	Обороты правого двигателя	unsigned __int8	1
Двигатель	Мгновенный расход топлива лев	unsigned __int16	2
	Мгновенный расход топлива прав	unsigned __int16	2
	Температура левого двигателя	__int16	2
	Температура правого двигателя	__int16	2
Гидросистема	Давление осн. гидросистемы	unsigned __int16	2
	Давление буст. гидросистемы	unsigned __int16	2
Пневмосистема	Давление осн. пневмосистемы	unsigned __int16	2
	Давление рез. пневмосистемы	unsigned __int16	2
Шасси	Выпуск левого шасси	unsigned __int8	1
	Выпуск правого шасси	unsigned __int8	1
	Выпуск переднего шасси	unsigned __int8	1
	Обжатие левого шасси	unsigned __int8	1
	Обжатие правого шасси	unsigned __int8	1
	Обжатие переднего шасси	unsigned __int8	1
	Давление тормозов осн	unsigned __int16	2
Планер	Текущая широта	double	8
	Текущая долгота	double	8
	Текущая высота	double	8
	Текущая радиовысота	double	8
	Текущая скорость (вертикальная)	double	8
	Текущая скорость (северная компонента)	double	8
	Текущая скорость (восточная компонента)	double	8
	Курс	double	8
	Крен	double	8
	Тангаж	double	8
Шасси	Текущая широта	double[20]	160
	Текущая долгота	double[20]	160
	Текущая высота	double[20]	160
	Текущая радиовысота	double[20]	160
	Текущая скорость (вертикальная)	double[20]	160
	Текущая скорость (северная компонента)	double[20]	160
	Текущая скорость (восточная компонента)	double[20]	160
	Курс	double[20]	160
	Крен	double[20]	160
	Тангаж	double[20]	160
Итого			1736



Литература

1. Кузнецов А.Г., Невская И.Р., Касьянов И.Ю. Задачи и структура многофункционального стенда интеграции пилотажно-навигационного оборудования. Научный Вестник МГТУ ГА серия Авионика и электротехника, № 148, 2009. – С. 43-48.
2. Кузнецов А.Г., Невская И.Р., Касьянов И.Ю. Вычислительная система стенда интеграции пилотажно-навигационного оборудования. Научный Вестник МГТУ ГА серия Авионика и электротехника, № 148, 2009. – С. 49-55.
3. Ian Moir, Allan G. Seabridge, Military Avionics Systems, John Wiley & Sons, Ltd., 2006. – С. 9-25.
4. Ермошин Н.А., Власов А.И., Ануфриев В.Н. Комплексный подход к освоению интерфейсов

ARINC и МКИО. Компоненты и технологии. №9, 2015. – С. 94-98.

5. Кучерявый А.А. Бортовые информационные системы: Курс лекций. Ульяновск: УлГТУ, 2004. – С. 143-149
6. Копорский Н.С., Видин Б.В., Жаринов И.О. Проектирование систем бортового информационного обмена, проблемы и достижения. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. №33, 2006. – С. 98-103
7. В. Олифер, Н. Олифер. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник. СПб.: Питер. 2016. – С. 155-156.
8. David Allerton, PRINCIPLES OF FLIGHT SIMULATION, John Wiley & Sons, Ltd., 2009. – С.82-92
9. Корсун О. Н., Набатчиков А. М., Бурлак Е. А. Синхронизация информационных потоков при полунатурном моделировании движения летательных аппаратов. Электронный научно-технический журнал "Инженерный вестник". №10, 2013. – С. 1-16.
10. Сергеев А.В. REFLECTIVE MEMORY: эффективное построение детерминированных сетей. Электронные компоненты серия АЦП и ЦАП №6, 2012. – С. 86-91.

Поступила 17 мая 2017 г.

English

Approaches to the software development of the hardware for the loop simulation

Vladislav Andreevich Benkovsky – Bachelor, Federal State-Funded Educational Institution of Higher Vocational Education «Moscow Aviation Institute (MAI) (National Research University)»¹.

E-mail: benkovskiiivlad@mail.ru.

Ива Юрийевич Волков – Crew Foreman, JSC RSK «MiG»².

E-mail: ib356_rsk@inbox.ru.

Ива Андреевич Новиков – 2nd Category Engineer, JSC RSK «MiG»².

E-mail: baronzz@mail.ru.

Vladimir Aleksandrovich Khachikyan – Candidate of Technical Sciences, Senior Research Associate, Associate Professor, Federal State-Funded Educational Institution of Higher Vocational Education «Moscow Aviation Institute (MAI) (National Research University)»¹.

E-mail: zaktol@yandex.ru.

¹Address: 125993, Moscow, Volokolamsk highway, 4.

²Address: 125284, Moscow, 1st Botkinsky roadway, 7.

Abstract: Currently, the weapons development and modernization needs involving a lot of developers that make the software and hardware for individual systems. Loop simulators are used to test and evaluate various properties of the developed equipment. A certain working practice has formed for these simulators engineering over the years. The article presents the systematization of the gained experience in this area. The exchange interfaces between the system blocks are the same and became standardized despite the variety of simulator types for different types of equipment. Data exchange networks were built in aeronautical equipment based on them which are called onboard networks. Such networks are industrial computer-based integrating some special equipment for their interfacing with onboard exchange networks. The simulator's operation requires the functional software which can be divided into the following classes: the software operating interface equipment; the software performing the simulation of specific systems and of the external environment; the service software. The first type software developing methods are introduced through the example of device manager making the graphical user interface that enables to control and monitor the devices' current status. The two ways manufacturing technology configuration of the second type software with the asynchronous operation added possibility to ensure greater fault tolerance is also introduced. The software of two classes was developed according to the architectural concepts above as a result of engineering loop simulators. The call-response interval of models with the host computer was less than 20 milliseconds during the experimental specified data transfer.

Keywords: loop simulator, aeronautical equipment, distributed computing systems.

References

1. *Kuznetsov A. G., Nevskaya I. R., Kasyanov, I. Y.* Objectives and structure of the multifunctional simulator of flight and navigation equipment integration. MSTUCA Scientific Journal of avionics and electrical engineering series, No. 148, 2009. Pp. 43–48.
2. *Kuznetsov A. G., Nevskaya I. R., Kasyanov, I. Y.,* Computing system of simulator for flight and navigation equipment integration MSTUCA Scientific Journal of avionics and electrical engineering series, No. 148, 2009. Pp. 49–55.
3. *Ian Moir, Allan G. Seabridge,* Military Avionics Systems, John Wiley & Sons, Ltd., 2006. pp. 9-25.
4. *Ermoshin N.A., Vlasov A.I., Anufriev V.N.* Comprehensive approach to the development of ARINC and MKIO interfaces. Components and technologies. №9, 2015. Pp. 94-98.
5. *Kucheryaviy A.A.* On-board information systems: Course of lectures. Ulyanovsk: UIGTU, 2004. Pp. 143-149
6. *Koporskiy N.S., Vidin B.V., Zharinov I.O.* Designing of systems of onboard information exchange, problems and achievements. Scientific and technical journal of information technologies, mechanics and optics. №33, 2006. Pp. 98-103
7. *V. Olifer, N. Olifer.* Computer networks. Principles, technologies, protocols. Textbook.SPb.:Piter. 2016. Pp. 155-156.
8. *David Allerton,* PRINCIPLES OF FLIGHT SIMULATION, John Wiley & Sons, Ltd., 2009. pp 82-92.
9. *Korsun O.N., Nabatchikov A.M., Burlak E.A.* Synchronize information flows with the half-sized modeling of the aircraft movement. Electronic scientific and technical journal "Engineering journal". № 10, 2013. Pp. 1-16.
10. *Sergeev A.V.* REFLECTIVE MEMORY: effective construction of deterministic networks. Electronic components of the ADC and DAC series No. 6, 2012. Pp. 86-91