

УДК 004.3:629.7

И.И. Итенберг, Д.А. Куликов, К.В. Тарандевич, А.П. Тимченко

**ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПЛАТФОРМА ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДУЛЬНОЙ
АВИОНИКИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЕТОВ И
ВЕРТОЛЕТОВ**

Описывается созданный в рамках НИР «Конструктор КБО-ВС» научно-технический задел в виде комплекта типовых унифицированных компонентов ИМА и прототипа быстродействующей платформы ИМА, позволяющий создавать высоконадежные многофункциональные интеллектуальные комплексы бортового оборудования летательных аппаратов. Приведены результаты моделирования в виде распределения температурных перегревов по поверхности крейта прототипа быстродействующей платформы ИМА при суммарной рассеиваемой мощности функциональных модулей в составе крейта. Представлены результаты исследований технических характеристик аппаратных ресурсов прототипа быстродействующей платформы ИМА.

Интегрированная модульная авионика (ИМА); платформа ИМА; типовые унифицированные аппаратно-программные компоненты ИМА.

I.I. Itenberg, D.A. Kulikov, K.V. Tarandevich, A.P. Timchenko

**HOME INTEGRATED MODULAR AVIONICS PLATFORM FOR
PROSPECTIVE CIVIL AIRCRAFTS AND HELICOPTERS**

The report describes scientific and research reserve of standard unified IMA components set and high-performance IMA platform prototype implemented under "Konstruktor-KBO" research and development effort. Said components set and platform enable the creation of highly reliable multifunctional intelligence complexes of aircraft on-board equipment. Results of modelling in the form of distribution of temperature overheats on a surface крейта the prototype of high-speed platform IMA are resulted at total disseminated capacity of functional modules in structure of крейта results of researches of characteristics of hardware resources of the prototype of high-speed platform IMA Are presented.

Integrated Modular Avionics (IMA); IMA platform; standard unified hardware-software IMA components.

Введение. Системные требования, предъявляемые к современным комплексам бортового оборудования летательных аппаратов (КБО ЛА) гражданского и военного назначения, как правило, характеризуются постоянным увеличением числа и сложности решаемых задач, а также расширением их интеллектуальных и адаптивных возможностей.

КБО ЛА нового поколения – это, прежде всего, развитая архитектура и интеллект, обеспечивающие высокую информационную поддержку выполнения полетного задания, глубокий уровень автоматизации управления летательным аппаратом на всех этапах полета, гарантированное отказоустойчивое функционирование, высокий модернизационный потенциал и адаптируемость к различным типам летательных аппаратов. Необходимость решения данного комплекса задач приводит разработчиков и системных интеграторов к пониманию того, что базирование на традиционных подходах, а именно на принципах федеративно-централизованной авионики, не в полной мере обеспечивает выполнение всего спектра требований, предъявляемых к современным КБО ЛА. Принимая это во внимание, в конце 90-х годов прошлого столетия ведущими зарубежными разработчиками авиационной техники, был инициирован ряд научно-исследовательских программ, направленных на формирование новых подходов к организации и построению перспективных КБО ЛА. В результате выполнения этих программ появилась концепция интегрированной модульной авионики (ИМА), позволяющая в полной мере реализовать все концептуальные требова-

ния, предъявляемые к современным КБО ЛА. В 2005 г. основные подходы к реализации и сертификации КБО ЛА на основе концепции ИМА были стандартизованы рабочей группой RTCA в виде международного стандарта DO-297. Сегодня практически все современные и перспективные КБО ЛА (Airbus A-380, Boeing 787 Dreamliner, SuperJet 100 и т.д.) базируются на принципах ИМА.

В Российской Федерации концепция ИМА получила развитие благодаря федеральной целевой программе «Развитие гражданской авиационной техники России на 2002–2010 гг. и на период до 2015 г.», в рамках которой был выполнен комплекс НИР «Конструктор КБО».

Существенным положительным моментом концепции ИМА является принцип открытости архитектуры, позволяющий системным интеграторам при создании КБО ЛА использовать ограниченный набор унифицированных аппаратно-программных компонентов (модулей) от разных производителей для создания масштабируемых бортовых вычислительных систем (платформ ИМА) с широким спектром функциональных характеристик, изменяемых в зависимости от требований конкретного применения. Исходя из этого, в рамках НИР «Конструктор КБО» перед ОАО НКБ ВС, как перед разработчиком базовых аппаратно-программных средств, были поставлены следующие цели и задачи:

- 1) создание комплекта типовых унифицированных компонентов и прототипа быстродействующей платформы ИМА с открытой высокоскоростной коммутируемой архитектурой на его основе;
- 2) разработка базового (системного) программного обеспечения (ПО) прототипа быстродействующей платформы ИМА с учетом требований стандартов ARINC 653 и DO-178B;
- 3) проведение исследовательских испытаний комплекта типовых унифицированных компонентов и прототипа быстродействующей платформы ИМА на его основе с целью оценки технических характеристик и возможности использования в составе перспективных КБО ЛА.

Комплект типовых унифицированных компонентов ИМА. Разработка комплекта типовых унифицированных компонентов ИМА велась с учетом требований международных стандартов VPX (VITA 46, VITA 48-REDI) и VITA 20, VITA 42.

Состав комплекта типовых унифицированных компонентов ИМА представлен на рис. 1 и в общем случае включает:

- 1) базовые несущие конструкции унифицированных крейтов с типоразмером модулей VPX 3U (БНКК-3U и БНКК-3U-Л);
- 2) функциональные модули в конструктиве VPX 3U с кондуктивным отводом тепла (МУПД, МНМ, МСК и МВЭ);
- 3) мезонинные модули расширения в конструктивах РМС/ХМС (МГ, ММП и МАВИ);
- 4) модули сопряжения и оптических интерфейсов в конструктиве RTM VPX 3U (МС МУПД, МОИ А818 и т.д.).

Прототип быстродействующей платформы ИМА с открытой высокоскоростной коммутируемой архитектурой. На основе комплекта типовых унифицированных компонентов был создан прототип быстродействующей платформы ИМА с открытой высокоскоростной коммутируемой архитектурой, структура которого представлена на рис. 2.

Прототип быстродействующей платформы ИМА представляет собой двухкластерную резервированную вычислительную систему, в составе которой функциональные модули объединены в единую вычислительную среду посредством быстродействующей распределенной коммутационной сети PCI Express и сетевых интерфейсов AFDX.

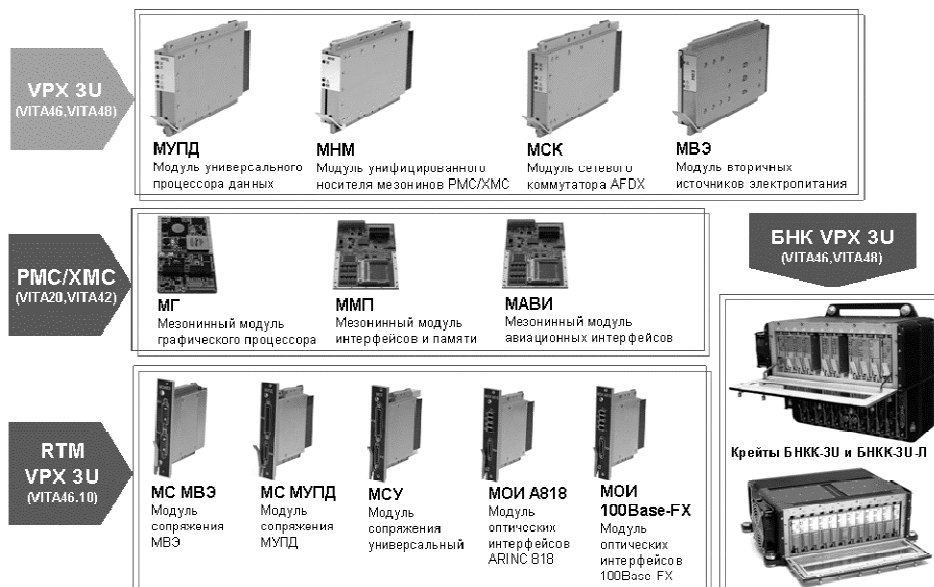


Рис. 1. Комплект типовых унифицированных компонентов ИМА

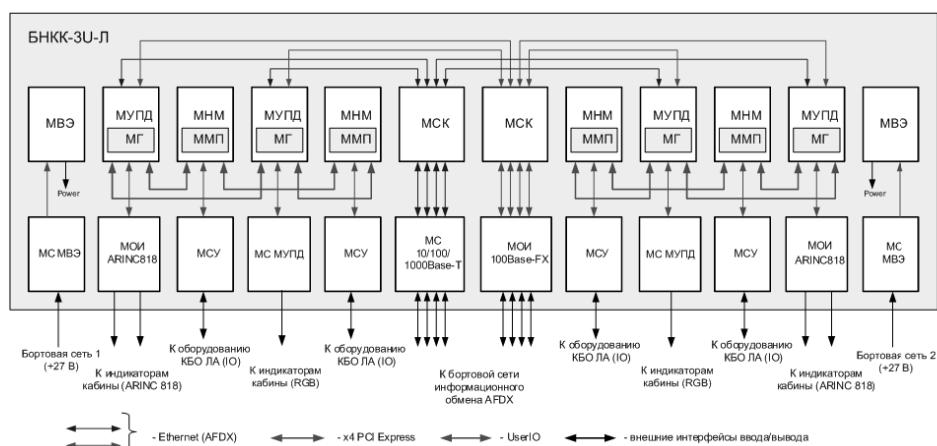


Рис. 2. Структура прототипа быстродействующей платформы ИМА с открытой высокоскоростной коммутуруемой архитектурой

- В качестве ключевых трендов прототипа можно выделить следующие элементы:
- 1) высокопроизводительные модули универсальных процессоров данных (МУПД) на базе двухядерных микропроцессоров с архитектурой PowerPC (MPC8640) и графических контроллеров (МГ), обеспечивающих возможность обработки данных и формирования (синтеза) 2D/3D-изображений на основе получаемой через интегрированную оконечную систему AFDX управляющей информации от бортовой сети информационного обмена под управлением ARINC 653 – совместимой операционной системы «реального времени» (ОС РВ «VxWorks 653»);
 - 2) коммутаторы и интерфейсы AFDX, позволяющие интегрироваться в единую бортовую сеть информационного обмена КБО ЛА;

- 3) распределенная встроенная энергонезависимая память большой информационной емкости (в составе ММП), позволяющая реализовывать различные информационные сервисы и базы данных;
- 4) быстродействующая межмодульная распределенная коммутационная среда PCI Express;
- 5) разнообразные интерфейсы ввода/вывода, обеспечивающие интеграцию платформы в состав КБО ЛА.

В связи с использованием высокопроизводительной элементной базы в составе функциональных модулей прототипа быстродействующей платформы ИМА особое внимание в процессе проектирования уделялось вопросам обеспечения эффективного отвода тепла от теплонагруженных элементов модулей. Для этого было выполнено моделирование тепловых режимов прототипа при различных температурах окружающей среды. Моделирование и последующий анализ результатов выполнялись с использованием средств САПР на специально разработанных тепловых 3D-моделях составных частей прототипа с учетом их пространственного размещения и режимов работы системы воздушного охлаждения. Полученные результаты позволили оценить выбранные конструктивные решения, направленные на обеспечение эффективного отвода тепла, целесообразность использования тех или иных теплопроводных материалов, эффективность системы воздушного охлаждения и т.д., и в последствии были подтверждены соответствующими экспериментальными проверками.

На рис. 3 приведены результаты моделирования в виде распределения температурных перегревов по поверхности крейта прототипа быстродействующей платформы ИМА при суммарной рассеиваемой мощности функциональных модулей в составе крейта, равной 304 Вт, температуре окружающей среды плюс 70 °С и объемном расходе воздуха в системе охлаждения 150 л/с.

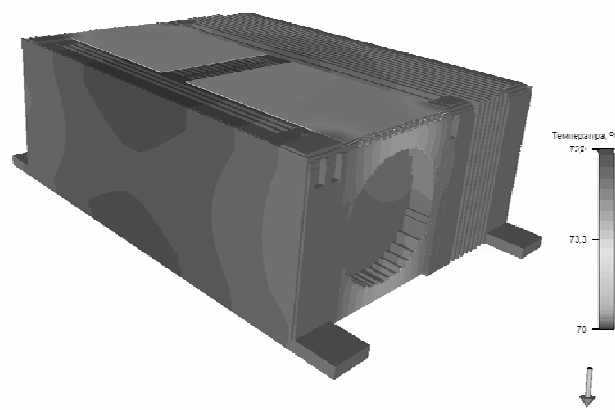


Рис. 3. Результаты моделирования тепловых режимов в виде распределения температурных перегревов по поверхности крейта прототипа быстродействующей платформы ИМА

Базовое (системное) программное обеспечение прототипа быстродействующей платформы ИМА. Технические требования, предъявляемые к функциональным задачам КБО ЛА [1, 2], вызывают необходимость выполнения в реальном времени алгоритмов управления приборами и исполнительными механизмами бортовых систем. При этом, как правило, требуется обеспечение детерминированной реакции на объективные события в системе и минимального времени задержки обработки указанных событий (латентности).

Существенной особенностью применения программных функций ИМА в составе КБО ЛА является необходимость обеспечения высокой надежности их функционирования, которая в свою очередь достигается:

- ◆ независимостью выполняемых функциональных приложений как при их реализации на разных процессорных модулях, так и при решении в составе одного выделенного вычислительного ресурса;
- ◆ реконфигурацией вычислительных ресурсов, выделенных для реализации задачи;
- ◆ высоким уровнем оперативной диагностики с целью минимизации времени обнаружения отказа оборудования.

Кроме того, важнейшим требованием для создания условий высокой надежности функционирования ИМА является обязательная поэлементная сертификация применяемого ПО на соответствие требованиям DO–178B.

В условиях повышенных требований, предъявляемых к авиационным приложениям, и с учетом необходимости их сертификации, важным является обеспечение переносимости ПО, что позволяет повторно использовать ранее разработанные и сертифицированные программные компоненты. Применение ранее разработанного ПО позволяет существенно сократить расходы на разработку и сертификацию и повышает достоверность разрабатываемых приложений.

С целью обеспечения указанных свойств на аппаратные ресурсы прототипа быстродействующей платформы ИМА была портирована ОС РВ «VxWorks 653», разработанная и сертифицированная на соответствие международным стандартам ARINC 653 и DO–178B компанией Wind River и ориентированная на организацию вычислений с учетом особенностей, определяемых концепцией ИМА [3, 4]. Помимо операционной системы в состав базового (системного) ПО прототипа быстродействующей платформы ИМА также были включены соответствующие программные компоненты (BSP), учитывающие архитектуру и специфику используемых аппаратных средств.

Обобщенный состав базового (системного) программного обеспечения прототипа быстродействующей платформы ИМА, обеспечивающий разработку прикладных приложений ИМА, представлен на рис. 4.

Исследовательские испытания прототипа быстродействующей платформы ИМА. С целью оценки возможности использования созданного прототипа быстродействующей платформы ИМА в составе перспективных КБО ЛА в рамках НИР «Конструктор КБО» был проведен комплекс исследовательских испытаний, направленных:

- 1) на подтверждение соответствия типовых унифицированных компонентов и прототипа быстродействующей платформы ИМА в целом квалификационным требованиям КТ–160D в части механо-климатических воздействий;
- 2) на подтверждение соответствия отдельных аппаратно-программных компонентов прототипа быстродействующей платформы ИМА требованиям общепринятых стандартов и спецификаций (например, подтверждение соответствия графической подсистемы и компонентов сети AFDX требованиям спецификаций OpenGL и ARINC–664P7);
- 3) на получение и анализ реальных технических характеристик типовых унифицированных компонентов и прототипа быстродействующей платформы ИМА в целом в различных условиях и режимах работы.

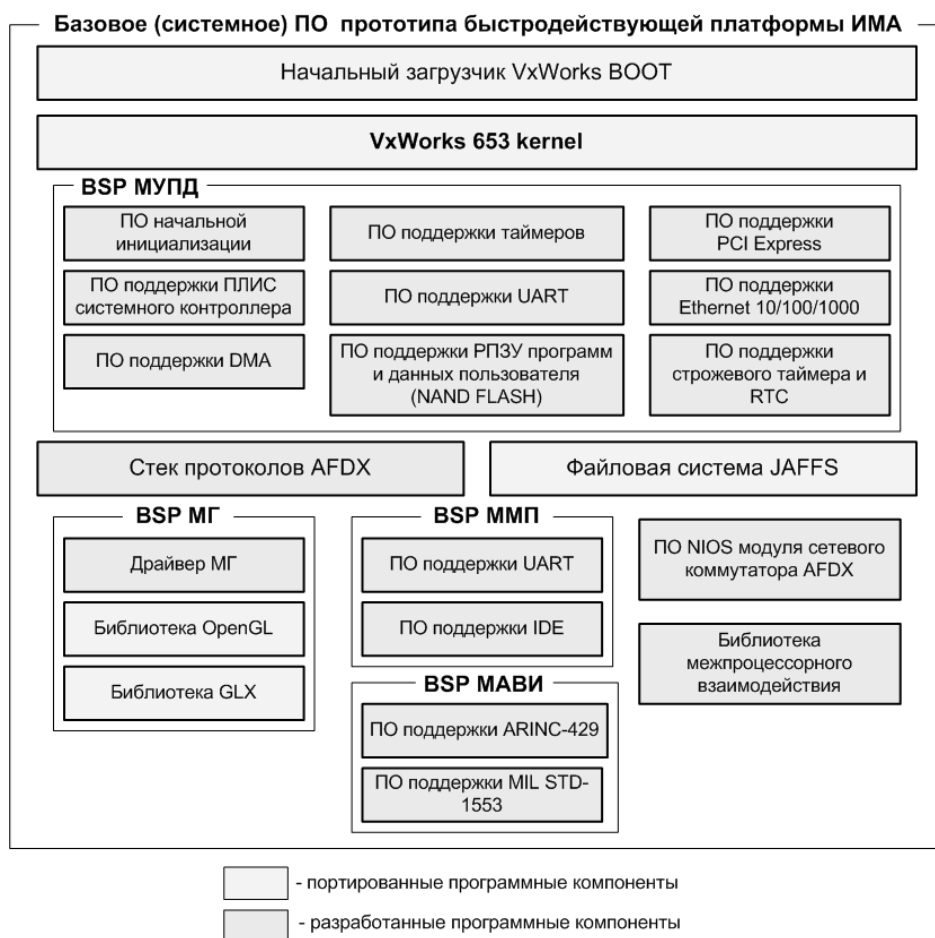


Рис. 4. Обобщенный состав базового (системного) ПО прототипа быстродействующей платформы ИМА

Для поддержки всех видов испытаний прототипа быстродействующей платформы ИМА специально был создан исследовательский стенд с комплектом тестовых приложений, обеспечивающий:

- 1) генерацию тестовых воздействий и формирование циклограмм информационных обменов по интерфейсам взаимодействия;
- 2) информационную загрузку вычислительных ресурсов платформы ИМА;
- 3) регистрацию и анализ результатов тестирования;
- 4) моделирование нештатных ситуаций путем генерации различных ошибок и сценариев в процессе работы с платформой ИМА;
- 5) автоматизацию исследовательских работ и процедур генерации и верификации тестов для всех видов исследований.

В качестве примера, в табл. 1 представлены результаты исследований технических характеристик аппаратных ресурсов прототипа быстродействующей платформы ИМА, функционирующего под управлением ОС РВ «VxWorks 653».

Таблица 1

Результаты исследований технических характеристик аппаратных ресурсов прототипа быстродействующей платформы ИМА

Наименование испытания (проверки)	Результаты испытания (проверки)
1. Проверка обеспечения загрузки и запуска на аппаратных ресурсах МУПД в составе платформы ИМА ОС РВ «VxWorks 653»	Аппаратные ресурсы МУПД в составе платформы ИМА обеспечивают штатную загрузку и запуск ОС РВ «VxWorks 653»
2. Проверка максимально возможного количества разделов (партиций), одновременно запускаемых на МУПД в составе платформы ИМА под ОС РВ «VxWorks 653»	Максимальное количество разделов (партиций), одновременно запускаемых на МУПД в составе платформы ИМА под ОС РВ «VxWorks 653», равно 255
3. Исследование временных характеристик работы разделов (партиций) на МУПД в составе платформы ИМА под ОС РВ «VxWorks 653»	1. Минимальное время работы разделов (партиций) на МУПД в составе платформы ИМА под ОС РВ «VxWorks 653» $T_{PDmin} = (172 \pm 1)$ мкс. 2. Время переключения разделов (партиций) на МУПД в составе платформы ИМА под ОС РВ «VxWorks 653» $T_{PCS} = (27 \pm 1)$ мкс
4. Исследование временных характеристик работы процессов в пределах разделов (партиций) на МУПД в составе платформы ИМА под ОС РВ «VxWorks 653»	Время переключения процессов в пределах разделов (партиций) на МУПД в составе платформы ИМА под ОС РВ «VxWorks 653» $T_{PRCS} \leq 9,2$ мкс
5. Исследование параметров доступа к памяти на МУПД в составе платформы ИМА под ОС РВ «VxWorks 653»	1. Скорость записи в ОЗУ на МУПД в составе платформы ИМА под ОС РВ «VxWorks 653» $S_{OZU_WR} =$ от 214 до 2942 Мбайт/с (в зависимости от размера блоков данных). 2. Скорость чтения из ОЗУ на МУПД в составе платформы ИМА под ОС РВ «VxWorks 653» $S_{OZU_RD} =$ от 243 до 1224 Мбайт/с (в зависимости от размера блоков данных)
6. Исследование параметров взаимодействия между разделами (партициями) на МУПД под ОС РВ «VxWorks 653»	1. Время доставки сообщения между разделами (партициями) на МУПД в составе платформы ИМА под ОС РВ «VxWorks 653» в режиме Sampling Mode $T_{MSG\ SM} = (21 \pm 1)$ мкс. 2. Время доставки сообщения между разделами (партициями) на МУПД в составе платформы ИМА под ОС РВ «VxWorks 653» в режиме Queuing Mode $T_{MSG\ QM} = (26 \pm 1)$ мкс
7. Исследование характеристик графической подсистемы МГ с МУПД в составе платформы ИМА под ОС РВ «VxWorks 653»	МГ в составе платформы ИМА под управлением ОС РВ «VxWorks 653» обеспечивает формирование изображений со сложной 2D/3D-графикой с частотой кадров не менее 30 fps и разрешением 1280x1024 пикселей и их передачу по оптическому интерфейсу ARINC-818 на скорости 2,125 Гбит/с
8. Исследование характеристик МСК при взаимодействии с МУПД по интерфейсу AFDX под ОС РВ «VxWorks 653»	Технологическая задержка коммутатора МСК при коммутации пакетов данных $T_{SW_МСК} \leq 135$ мкс (в зависимости от длины пакета)

Заключение. Выработанные в ходе НИР «Конструктор КБО» подходы к созданию бортовых вычислительных платформ на основе концепции ИМА и созданный научно-технический задел в виде комплекта типовых унифицированных компонентов ИМА и прототипа быстродействующей платформы ИМА позволяют продолжить исследовательские работы по созданию высоконадежных многофункциональных интеллектуальных КБО ЛА, способных конкурировать с лучшими мировыми образцами авиационной техники.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. C-130AMP press release – Wind River, ACT, and Smiths Aerospace, www.windriver.com.
2. Boeing 7E7 Dreamliner Common Core Systems – Wind River and Smiths Aerospace, www.windriver.com.
3. *Parkinson P., Kinnan L.* Safety-Critical Software Development for Integrated Modular Avionics – Wind River, 2007.
4. *P. Parkinson, F. Gasperoni.* High Integrity Systems Development for Integrated Modular Avionics Using VxWorks and GNAT - 7th International Conference on Reliable Software Technologies, Ada Europe, 2002.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. М.Ю. Медведев.

Итенберг Игорь Ильич – Открытое акционерное общество "Научно-конструкторское бюро вычислительных систем"; e-mail: itenberg@nkbvs.ru; 347936, г. Таганрог, ул. 1-я Линия, 144-а; тел.: 88634682560; к.т.н., генеральный директор, главный конструктор.

Куликов Дмитрий Анатольевич – e-mail: kulikov@nkbvs.ru; тел.: 88634682560; первый заместитель технического директора.

Тарандевич Константин Валентинович – e-mail: tkv@nkbvs.ru; тел.: 88634682560; заведующий отделом.

Тимченко Александр Петрович – e-mail: timchenko@nkbvs.ru; тел.: 84952232708 (доб. 32-08); заместитель генерального директора, заместитель главного конструктора, директор московского филиала.

Itenberg Igor P'ich – Joint Stock Company "Scientific Design Bureau of Computer Systems"; e-mail: itenberg@nkbvs.ru; 1 Liniya street, 144-a, 347936, Taganrog; phone: +78634682560; cand. of eng. sc.; director general; chief designer.

Kulikov Dmitriy Anatol'evich – e-mail: kulikov@nkbvs.ru; phone: +78634682560; first deputy technical director.

Tarandevich Konstantin Valentinovich – e-mail: tkv@nkbvs.ru; phone: +78634682560; department manager.

Timchenko Alexander Petrovich – e-mail: timchenko@nkbvs.ru; phone: +74952232708 (ext. 32-08); deputy director general; deputy chief designer; director of Moscow branch office.