



Алексей Медведев

# Мезонинные модули FMC для построения высокопроизводительных систем обработки сигналов

В статье дано краткое описание стандарта FMC, определяющего типоразмеры и интерфейсы мезонинных модулей, предназначенных для работы с несущими платами на базе ПЛИС. В качестве примеров приведены описания как мезонинов FMC, так и несущих плат, выполненных по стандартам CompactPCI Serial и OpenVPX.

## ТРЕБОВАНИЯ И ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ВНЕШНЕГО ИНТЕРФЕЙСА ВВОДА-ВЫВОДА

Одна из самых заметных проблем, с которыми сталкиваются разработчики встраиваемых систем, — это разнообразие технических требований к организации внешнего интерфейса ввода-вывода. Независимо от природы интерфейса: Ethernet с оптическим или «мед-

ным» физическим каналом передачи данных, аналоговый или гигабитный последовательный интерфейс, — разработчикам системы необходим эффективный набор средств для создания требуемого сочетания интерфейсов в вычислительной системе.

Одним из способов решения данной проблемы является использование двухкомпонентной системы, состоящей

из платы-носителя с блоком обработки и мезонинного модуля, служащего для организации ввода/вывода сигналов.

Данный подход хорошо стандартизован и включает несколько форм-факторов мезонинных модулей, таких как PMC и XMC, и носители в специализированном исполнении, наиболее распространёнными из которых являются модули форм-фактора VME, VPX,

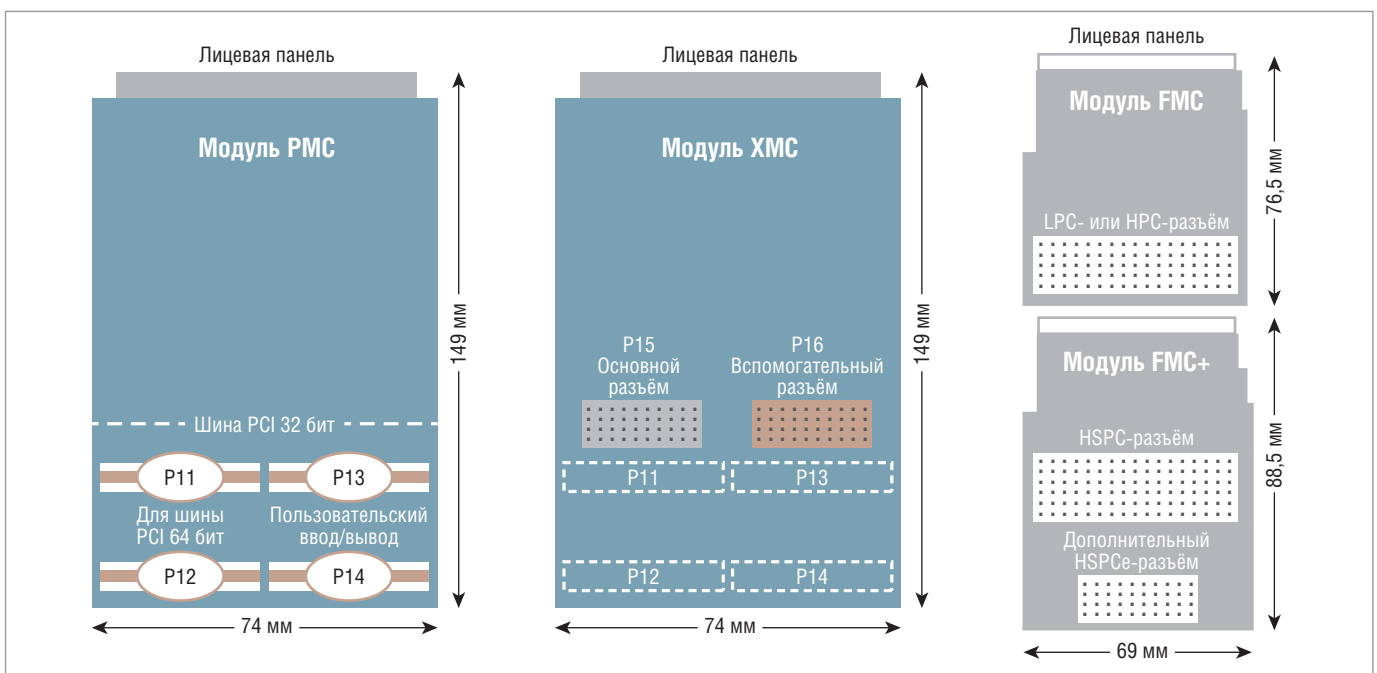


Рис. 1. Стандартные мезонинные модули

CompactPCI, AdvancedTCA, MicroTCA, PCI, PXI.

Взаимодействие между несущей платой и мезонинными модулями PMC и XMC основано на шинах PCI и PCI Express соответственно.

## Стандарт модулей FMC

Широкое распространение технологии ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема), в частности FPGA (Field-Programmable Gate Array – программируемая пользователем вентильная матрица), только подтвердило правильность подхода, разделяющего компоненты встраиваемой вычислительной системы на устройства ввода/вывода и устройства математической обработки, и эволюционным путём привело к стандартизации модулей ввода/вывода. В 2008 году была завершена разработка кросс-платформенного стандарта ANSI/VITA 57.1 FPGA Mezzanine Card (FMC). Этот стандарт определил конструкцию модуля и физический интерфейс модуля с несущей платой (тип разъёмного соединителя, набор сигналов, их физические характеристики и расположение на контактах соединителя). Протокол взаимодействия модуля с несущей платой стандартом не ограничен ввиду многообразия возможных типов интерфейсов ввода/вывода. Именно это и делает стандарт модулей FMC по-настоящему кросс-платформенным и применимым к любым несущим платам (рис. 1), в отличие от PMC и XMC.

Мезонинные модули FMC имеют форм-фактор с габаритными размерами 69×76,5 мм – одинарной ширины, либо 139×76,5 мм – двойной ширины (рис. 2). Модули стыкуются в качестве мезонинов со специальными несущими платами обработки данных, содержащими ПЛИС (FPGA). Стандарт опре-

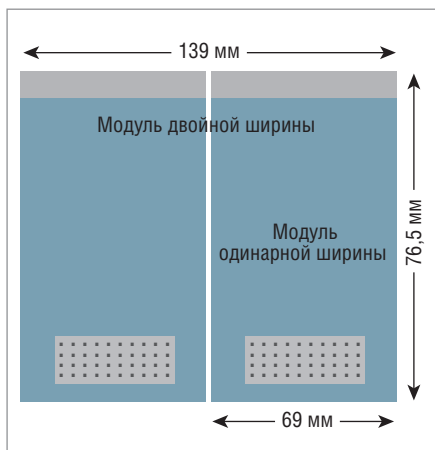


Рис. 2. Размеры модулей FMC

деляет два варианта разъёма для стыковки несущего и мезонинного модулей FMC, а именно:

- 160-контактный Low Pin Count (LPC) – 68 пользовательских сигналов (или 34 дифференциальные пары LVDS);
- 400-контактный High Pin Count (HPC) – 160 пользовательских сигналов (или 80 дифференциальных пар LVDS).

Разъёмные соединители LPC и HPC pin-совместимы.

Помимо дифференциальных пар LVDS, стандартом предусмотрены отдельные последовательные высокоскоростные трансиверные линии (transceiver lanes) и линии тактирования для них, обеспечивающие пропускную способность до 1 Гбит/с (в перспективе до 10 Гбит/с) для каждой (причём в HPC таких линий может быть до 10, а в LPC всего одна).

## Спецификация FMC+

Для поддержки нового класса преобразователей данных, использующих последовательный интерфейс JESD204B вместо параллельного LVDS, спецификация FMC была улучшена до FMC+. Данная версия, прописанная в VITA 57.4, увеличивает количество последовательных трансиверных линий с 10 до 24 через новую высокоскоростную версию разъёма HPC с ещё четырьмя рядами контактов (разъём HSPC). Новый разъём для FMC+ рассчитан на скорость передачи данных до 28 Гбит/с.

VITA 57.5 дополнительно добавляет ещё восемь гигабитных трансиверных линий в модуль FMC+, увеличивая длину исходного модуля FMC на 12 мм для поддержки нового 40-контактного разъёма (HSPCe), как показано в нижнем правом углу на рис. 1. Это увеличивает общее количество полнодуплексных гигабитных последовательных (трансиверных) линий до 32, что позволяет обеспечить максимальные скорости передачи входных/выходных данных.

FMC, в отличие от PMC и XMC, не используют стандартные отраслевые интерфейсы, такие как PCI или PCIe. Вместо этого FMC-модуль имеет уникальный набор линий управления и передачи данных, каждый из которых отличается уровнем сигнала, количеством, рядностью и скоростью. При тактовой частоте 1 ГГц 80 дифференциальных линий передачи данных могут обеспечивать 10 Гбайт/с, хотя новая спецификация FMC+ удваивает эти значения.

Первоначальная спецификация FMC задала проектную цель 10 Гбит/с для каждой из десяти трансиверных линий, обеспечивая максимальную совокупную скорость передачи данных 10 Гбайт/с. Новая спецификация FMC+ с пропускной способностью 28 Гбит/с при максимальном количестве в 32 линии повышает эту совокупную максимальную скорость передачи данных до 90 Гбайт/с.

## Преимущества технологии FMC

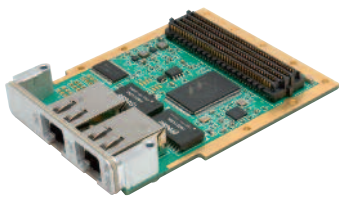
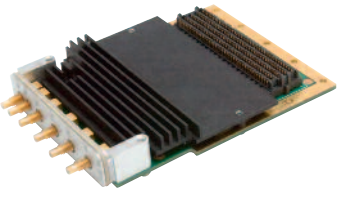

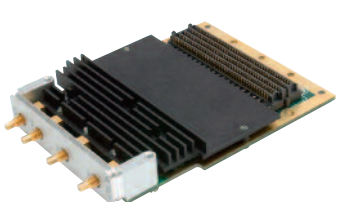
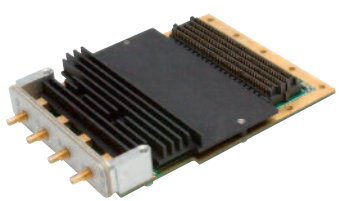
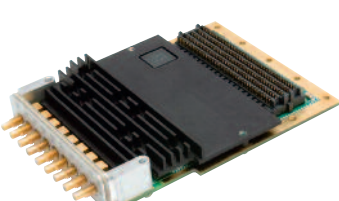
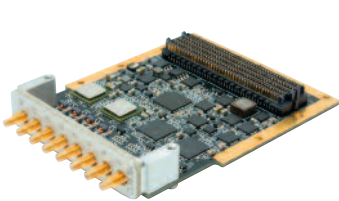
На мезонинных модулях FMC находятся устройства ввода/вывода и первичной обработки сигналов, такие как АЦП, ЦАП, DDC или интерфейсные приёмопередатчики. Исключение промежуточных интерфейсных мостов позволяет довести до максимума пропускную способность при передаче данных. Также технология FMC позволяет существенно упростить процесс проектирования встраиваемых систем и предоставляет разработчикам ряд важных преимуществ.

- Максимальная пропускная способность – индивидуальная скорость передачи данных до 10 Гбит/с, с общей пропускной способностью до 100 Гбайт/с и более между мезонином и ПЛИС.
- Минимальная латентность благодаря исключению промежуточных интерфейсных мостов, что также обеспечивает детерминизм доставки данных.
- Снижение сложности проектирования – ввод-вывод подключается непосредственно к FPGA, поэтому опыт работы с такими стандартными протоколами, как PCI, PCI Express или Serial RapidIO, не требуется. Поддерживается возможность непосредственного соединения между микросхемами мезонина и ПЛИС несущего модуля, в том числе и через мультигигабитные трансиверы.
- Минимальные системные затраты – упрощение проектирования системы снижает затраты на IP-ядра, уменьшает время разработки и снижает расходы на комплектующие изделия для готового продукта.

## Применение мезонинных модулей FMC

Область применения мезонинных модулей FMC чрезвычайно широка и включает системы связи, радиолокации, гидроакустики, обработки и рас-

Мезонинные модули FMC производства Perfectron

Наименование	Внешний вид	Описание	Производитель
М1С1801 – двухканальный мезонинный модуль Ethernet		Шестипортовый Ethernet-коммутатор. Два порта интерфейса физического уровня Ethernet 1000Base-T/100Base-TX/10Base-T выведены на переднюю панель с использованием разъёмных соединителей RJ-45. Четыре порта (1×GMII, 3×SGMII) выведены на разъёмный соединитель FMC. Кроме указанных портов обмена информацией, мезонин предоставляет возможность двунаправленного ввода-вывода до 32 сигналов стандарта CMOS.	Perfectron
М1С1811 – 4-канальный мезонинный модуль АЦП стандарта FMC с разрядностью преобразования 10 бит и максимальной частотой дискретизации до 5 Гсэмпл/с		Модуль имеет четырёхканальный АЦП, работающий в трёх различных конфигурациях: <ul style="list-style-type: none"> <li>одноканальный режим с максимальной частотой дискретизации до 5000 МГц;</li> <li>двухканальный режим с максимальной частотой дискретизации 2500 МГц;</li> <li>четырёхканальный режим с максимальной частотой дискретизации 1250 МГц.</li> </ul> В качестве опорного тактового сигнала может быть использован как сигнал с внешнего источника, так и внутренний сигнал с несущей платы. Схема синхронизации с внешним опорным сигналом позволяет организовать совместную когерентную обработку сигналов несколькими модулями.	Perfectron
М1С1812 – 16-канальный мезонинный модуль АЦП стандарта FMC с разрядностью преобразования 14 бит и максимальной частотой дискретизации до 125 Мсэмпл/с		Модуль имеет шестнадцать 14-битных каналов аналого-цифрового преобразования с частотой дискретизации до 125 МГц. В качестве опорного тактового сигнала может быть использован как сигнал с внешнего источника, так и внутренний сигнал с несущей платы. Возможность выдачи тактового сигнала на внешний разъём позволяет обеспечить каскадное включение нескольких плат для когерентного аналого-цифрового преобразования.	Perfectron
М1С1821 – 2-канальный мезонинный модуль ЦАП стандарта FMC с разрядностью преобразования 14 бит и максимальной частотой дискретизации 2,5 Гсэмпл/с		Модуль имеет два 14-битных ЦАП с частотой дискретизации до 2500 МГц. В качестве опорного тактового сигнала может быть использован как сигнал с внешнего источника, так и внутренний сигнал с несущего модуля. Возможность вывода тактового сигнала на внешний разъём позволяет обеспечить каскадное включение нескольких плат для когерентного цифроаналогового преобразования.	Perfectron
М1С1822 – 1-канальный мезонинный модуль ЦАП стандарта FMC с разрядностью преобразования 12 бит и максимальной частотой дискретизации 3 Гсэмпл/с		Модуль содержит 12-битный цифроаналоговый преобразователь с частотой дискретизации до 3000 МГц. В качестве опорного тактового сигнала может быть использован как сигнал с внешнего источника, так и внутренний сигнал с несущей платы. Возможность выдачи тактового сигнала на внешний разъём позволяет обеспечить каскадное включение нескольких плат для когерентного аналого-цифрового преобразования.	Perfectron
М1С1831 – 4-канальный мезонинный модуль трансивера стандарта FMC с разрядностью преобразования 12 бит, максимальной шириной полосы спектра частот сигнала до 56 МГц и несущей частотой от 70 МГц до 6 ГГц		Модуль имеет две двухканальные микросхемы трансиверов с максимальной частотой дискретизации входных/выходных данных до 122,8 МГц. Ширина полосы спектра частот входных/выходных сигналов составляет от 200 кГц до 56 МГц. В качестве опорного тактового сигнала используется сигнал с несущей платы. Опорная частота для работы блока смесителей в трансиверах может быть сформирована на внутренней ФАПЧ (фазовой автоподстройке частоты) трансиверов из опорного тактового сигнала с несущей платы или заведена с внешнего разъёмного соединителя.	Perfectron
М1С1832 – 4/2-канальный модуль АЦП/ЦАП стандарта FMC с интерфейсом JESD204B		Модуль имеет две микросхемы цифроаналоговых преобразователей с максимальной частотой дискретизации 2800 МГц и две микросхемы аналого-цифровых преобразователей с максимальной частотой дискретизации 1250 МГц. Данная конфигурация позволяет реализовать 4 независимых канала цифроаналогового преобразования и 4 независимых канала аналого-цифрового преобразования. В качестве опорного тактового сигнала используется сигнал с несущей платы.	Perfectron

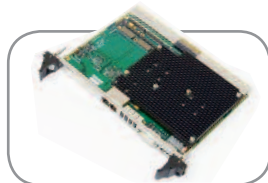
**Скорость и надежность  
современных  
ТЕХНОЛОГИЙ**



Поддерживаемые ОС

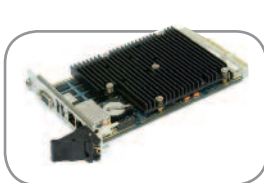


**CompactPCI 2.0, 2.16, 2.30, Serial**



**CPC503**

Intel Core i7  
с поддержкой модулей  
расширения XMC/PMC



**CPC508**

Intel Atom  
с мезонином 2×CAN,  
2×RS-422/485, 2×USB



**CPC510**

Intel Core i7  
2×PCIe x8, 4×PCIe x4  
для межмодульной  
коммутации

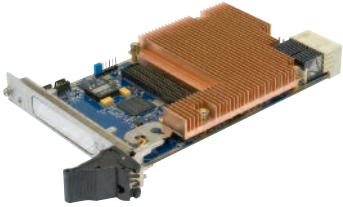
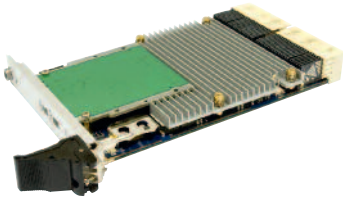



**CPC512**

Intel Core i7  
1×Gbe, 2×PCIe x8, 4×PCIe x4  
для межмодульной  
коммутации



Несущие модули на базе ПЛИС стандартов CompactPCI Serial и OpenVPX

Наименование	Стандарт	Внешний вид	Описание	Производитель
<b>FPU500 – модуль реконфигурируемый вычислительный на базе ПЛИС семейства Virtex-6</b>	CompactPCI Serial		Модуль предназначен для построения высокопроизводительных бортовых систем сбора и цифровой обработки сигналов реального времени на платформе CompactPCI Serial 3U. Вычислительным ядром FPU500 является ПЛИС Virtex-6 с 4 Гбайт ОЗУ DDR3. Интеграция FPU500 в вычислительную систему обеспечивается по шине PCI-E x8 Gen2.	FASTWEL
<b>FPU502 – модуль реконфигурируемый вычислительный на базе ПЛИС семейства Kintex UltraScale</b>	CompactPCI Serial		Модуль предназначен для построения высокопроизводительных бортовых систем сбора и цифровой обработки сигналов реального времени на платформе CompactPCI Serial 3U. Модуль полностью поддерживает систему программирования SDAccel, благодаря чему возможно применение языка C++ для разработки прошивок ПЛИС. Высокая производительность обработки данных, поступающих либо по интерфейсу PCI-Express Gen3 x8 либо через модуль FMC мезонина, обеспечивается ПЛИС Kintex UltraScale с двумя независимыми банками ОЗУ. Система синхронизации модулей на кросс-плате с Full Mesh Ethernet позволяет формировать опорные сигналы из любого вычислительного модуля. Ввод опорного сигнала в систему может осуществляться через слот P4 от Rear IO-модуля.	FASTWEL
<b>FPU1500 – модуль реконфигурируемый вычислительный на базе ПЛИС Artix-7</b>	OpenVPX		Модуль предназначен для построения высокопроизводительных бортовых систем сбора и цифровой обработки сигналов, в том числе в режиме реального времени в стандартном исполнении OpenVPX 3U ANSI/VITA 46. Вычислительным ядром FPU301 является FPGA Artix-7 с 1 Гбайт ОЗУ DDR3. Для ввода сигналов в систему предусмотрена возможность установки мезонинных модулей FMC различного функционального назначения, совместимых со спецификацией ANSI/VITA 57.1.	Perfectron

познавания речи, лабораторное оборудование, системы автоматизации промышленного оборудования, системы медицинской диагностики, цифровое радио и телевидение и др. Для построения данных систем можно использо-

вать модули производства компаний Perfectron (табл. 1).

Данные мезонины могут быть, например, установлены на следующие несущие модули на базе ПЛИС, выполненные по стандартам CompactPCI

Serial и OpenVPX (табл. 2), производства Perfectron и FASTWEL. ●

**Автор – сотрудник фирмы ПРОСОФТ  
Телефон: (495) 234-0636  
E-mail: info@prosoft.ru**

НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ

**Новости ISA**

24 мая 2018 года в Демонстрационном зале НИТ ГУАП профессор университета штата Индиана (США), президент ISA 2009 года, почётный доктор ГУАП Gerald Cockrell принял участие в заключительном занятии Интернет-семинара «Управление проектами». Президент Российской секции ISA 2018 года, д.э.н., к.ф.-м.н., директор института технологий предпринимательства ГУАП А.С. Будагов вручил от имени профессора Cockrell сертификаты университета штата Индиана студентам и преподавателям – слушателям семинара, успешно завершившим программу.

24 мая на заседании учёного совета университета ректор ГУАП Юлия Анатольевна Антохина вручила студентам и аспирантам – победителям XIV Европейского конкурса на лучшую студенческую научную работу ISA почётные дипломы и золотые медали. Награ-

ды получили Мария Шелест, Александр Чабаненко, Белла Акопян, Александра Шабанова, Ростислав Шаниязов, Максим Тарала. Команда университета стала победителем в общем командном зачёте.

В этот же день была проведена торжественная церемония награждения победителей открытого отборочного чемпионата на базе Инженерной школы ГУАП. В 2018 году чемпионат состоялся во второй раз, и это со-



Участники заседания Президиума ISA РФ

бытие прочно вошло в число крупнейших мероприятий WorldSkills, проводимых в Петербурге. В соревнованиях приняли участие более 100 студентов и экспертов из 5 образовательных организаций Москвы и Санкт-Петербурга. Соревнования проходили по шести компетенциям. На церемонии награждения обладателям трёх призовых мест по каждой компетенции вручили дипломы и подарки, а экспертам – сертификаты, подтверждающие их статус в каждой компетенции. По итогам отборочного чемпионата были определены студенты, которые примут участие в Национальном межвузовском чемпионате по стандартам WorldSkills, который пройдёт в конце 2018 года в Москве.

Распоряжением Комитета по науке и высшей школе от 07.05.2018 № 47 присуждены премии Правительства Санкт-Петербурга за выдающиеся достижения в области высшего и среднего профессионального образования в 2018 году. Лауреатом премии в номинации «Организационные решения по повышению качества подготовки специалистов» в составе авторского коллектива стала И.А. Киришина, доцент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств, заместитель директора Института радиотехники, электроники и связи ГУАП, активный член российской секции ISA, за работу «Создание интегрированных инновационных научно-образовательных структур как инструмента подготовки профессиональных кадров в области инженерно-технического образования».

Директор института инновационных технологий в электромеханике и энергетике ГУАП, д.т.н., профессор, активный член Российской секции ISA В.Ф. Шишлаков преподнёс в дар центру знаний ISA в РФ изданную в 2018 году монографию группы авторов «Электроэнергетический комплекс со сверхпроводниковым оборудованием: разработка, создание, исследование».

18 июня в штаб-квартире ISA в Российской Федерации прошло очередное заседание Президиума ISA РФ. На заседании, которое вели ректор ГУАП, президент Российской секции ISA 2014 года Ю.А. Антохина и Глава представительства ISA в РФ, президент ГУАП А.А. Оводенко, с отчётом за первое полугодие 2018 года выступил президент Российской секции ISA 2018 года, директор института технологий предпринимательства ГУАП, д.э.н. А.С. Будагов. Члены Президиума обсудили проект плана подготовки к 25-летнему юбилею Российской Санкт-Петербургской секции ISA.

27 июня в атриуме Комендантского дома Петропавловской крепости поздравили луч-



Церемония подписания договора ГУАП – Сколтех

ших выпускников вузов Санкт-Петербурга 2018 года. Лучшие выпускники получили памятные подарки из рук вице-губернатора Санкт-Петербурга Владимира Владимировича Кириллова. Лучшим выпускником ГУАП 2018 года стала магистр института ИБМП Анастасия Петрушевская – победитель многих конкурсов и олимпиад в области научно-технического творчества, лауреат стипендий Президента РФ и Правительства Санкт-Петербурга, член студенческой секции ISA ГУАП.

27 июня в Санкт-Петербурге прошла выставка дипломных проектов, выполненных студентами вузов Санкт-Петербурга по заданию исполнительных органов государственной власти Санкт-Петербурга, «Студенты – городу 2018». Четырём выпускникам ГУАП 2018 года, выигравшим конкурс, было предоставлено право выполнить дипломные проекты. Руководителем двух дипломных проектов была д.т.н., профессор Е.Г. Семёнова (директор ИБМП ГУАП, президент Российской секции ISA 2011 года). Вице-губернатор Санкт-Петербурга В.В. Кириллов, посетивший выставку, ознакомился с экспозицией ГУАП и поблагодарил студентов и руководителей. Ректор ГУАП Ю.А. Антохина представила вице-губернатору студентов и их работы.

10 июля 2018 года Сколковский институт науки и технологий (Сколтех) и ГУАП подписали договор о создании Центра компетенций НТИ по направлению «Технологии беспроводной связи и Интернета вещей» (IoT) в Северо-Западном федеральном округе. По результатам конкурсного отбора, проводившегося в 2018 году в рамках Национальной технологической инициативы (НТИ), Центром компетенций выбран Сколтех как лидер консорциума передовых российских вузов и промышленных организаций по этому направлению. Региональный центр ответственности ЦК НТИ по Северо-Западному федеральному округу по данному направлению создаётся на базе ГУАП как активного участ-

ника консорциума вузов и лидера российской высшей школы в области IoT.

– Плодотворное сотрудничество, которое регламентировано консорциумом, даст возможность в ближайшем будущем разработать новые российские продукты для отечественной промышленности, поставить новые образовательные программы, включая повышение квалификации и переподготовку. В то же время мы готовы быть большим соединительным элементом между вузами, промышленными и технологическими партнёрами, – отметила ректор ГУАП, профессор Ю.А. Антохина. Объединение экспертизы и ресурсов Сколтеха и ГУАП, в тесном взаимодействии с промышленными партнёрами, позволит вывести на новый уровень разрабатываемые технологические решения и научные методы, добиться их применения на уровне региона и страны. Национальная технологическая инициатива – российская программа по выдвижению России в число мировых технологических лидеров. Для реализации этой программы в России создаются Центры компетенций НТИ по различным направлениям. ЦК НТИ представляют собой структурные подразделения на базе вуза или научной организации, осуществляющие комплексное развитие «сквозных» технологий НТИ совместно с членами консорциума на основании договора о формировании консорциума. ●

5 июля 2018 года ушёл из жизни президент международного научно-технического общества приборостроителей и метрологов, д.т.н., профессор, лауреат Государственной премии СССР, участник Великой Отечественной войны, член Генерального совета Международной конфедерации по измерениям (ИМЕКО), главный редактор журнала «Приборы», член редколлегии журнала «Медицинская техника», старейший член Российской секции ISA **Кавалеров Гений Иванович.**