

[DOI: 10.17323/2587-814X.2021.2.47.59](https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.47.59)

Системы интернета вещей в процессе мультидисциплинарной подготовки кадров для цифровой экономики и их проектирование

В.А. Комаров^{a,b} 

E-mail: VKomarov@iss-reshetnev.ru

А.В. Сарафанов^c 

E-mail: Sarafanov@i-teco.ru

^a АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева»
Адрес: 662972, г. Железногорск, ул. Ленина, д. 52

^b Сибирский федеральный университет
Адрес: 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79

^c ООО «Витте Консалтинг» (ГК «Ай-Тек»)»
Адрес: 117036, Москва, ул. Кедрова, д. 15

Аннотация

В условиях цифровизации наиболее наукоемких отраслей экономики большое значение имеет развитие отраслевой системы подготовки кадров в области электронного приборостроения. К ключевым направлениям ее развития с применением информационно-коммуникационных технологий относятся разработка и совершенствование технологического базиса для подготовки и переподготовки кадров по инженерным образовательным программам. Одним из элементов такого базиса является сервис многопользовательского удаленного доступа к высокотехнологичному экспериментальному оборудованию на основе систем интернета вещей (internet of things, IoT), получивший название «лаборатория как сервис» (laboratory as a service). В рамках данного сервиса актуальной проблемой является повышение функциональной насыщенности автоматизированных макетов, стендов и установок. Данная проблема в настоящее время характеризуется малочисленностью научных исследований. Поэтому цель настоящей работы состоит в расширении областей экспериментальных исследований, выполняемых в режиме многопользовательского удаленного доступа на основе специализированных IoT-систем. В результате разработан метод мультидисциплинарного применения специализированных IoT-систем, заключающийся в технической реализации возможности дополнительных исследований, включая исследования технологий, лежащих в основе как многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем, так и IoT-систем в целом, исследования технологий, используемых при их сквозном автоматизированном проектировании, а также исследования совместного взаимодействия нескольких территориально распределенных автоматизированных макетов, стендов и установок, реализованных на основе четырехуровневой архитектуры IoT. Также разработана методология проектирования многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем как специализированных IoT-систем, ориентированная на решение мультидисциплинарных исследовательских задач в интерактивном диалоговом режиме на основе единичных экземпляров экспериментального оборудования. Данная методология обеспечивает организационное, техническое и методическое сопровождение процесса создания таких систем с заданными целевыми характеристиками. В целом разработанные метод и методология открывают возможности реализации на системной основе базовых принципов концепции «Образование 4.0» при подготовке и переподготовке инженерных кадров в области электронного приборостроения.

Ключевые слова: интернет вещей; IoT-система; лаборатория как сервис; технические средства обучения; многопользовательские распределенные измерительно-управляющие системы; методология проектирования.

Цитирование: Комаров В.А., Сарафанов А.В. Системы интернета вещей в процессе мультидисциплинарной подготовки кадров для цифровой экономики и их проектирование // Бизнес-информатика. 2021. Т. 15. № 2.

С. 47–59. DOI: 10.17323/2587-814X.2021.2.47.59

Введение

Ускоренные темпы цифровизации различных сфер человеческой деятельности отражаются, в первую очередь, на содержательной, методической и технологической составляющих отраслевой системы подготовки кадров (ОСПК). При этом особенностью текущей ситуации в мире, накладывающей ряд ограничений на традиционные подходы к образованию, является пандемия COVID-19 [1]. В этих условиях повышается актуальность следующих современных тенденций в ОСПК:

- ◆ применение на системной основе в различных видах учебных занятий информационного-коммуникационных технологий (ИКТ);
- ◆ усиление акцента на персонализацию обучения, внедрение гибкого графика обучения и отказ от жесткой привязки обучаемых к конкретным локациям;
- ◆ модернизация традиционной инфраструктуры образовательных учреждений – внедрение цифровых библиотечных систем, широкое использование ИКТ-инструментов и специализированных систем для одновременной организации лекционных занятий во множестве различных локаций для онлайн и офлайн-режимов, применение кибер-физических систем, а также систем интернета вещей (IoT-систем), в частности, в качестве средств для проведения экспериментов в специализированных распределенных лабораториях;
- ◆ организация обучения с применением ИКТ как непрерывного процесса, сопровождающего человека на протяжении всей его жизни [2–10].

В рамках стратегии «Образование 4.0» выделяются следующие ключевые аспекты [11]:

- ◆ образование по требованию (education on demand);
- ◆ персонализация образования (personalization of education);
- ◆ обучение в удобное время в любом месте (learning at a convenient time anywhere);
- ◆ обучение на протяжении всей жизни (life-long learning).

Практическая реализация перечисленных аспектов опирается на разработку и совершенствование технологического базиса с применением ИКТ для подготовки и переподготовки кадров по инженерным образовательным программам в области электронного приборостроения. Так, при подготовке и переподготовке инженерных кадров для цифровой экономики реализация таких аспектов как «обучение в удобное время в любом месте» и «персонализация образования» в рамках цифровых образовательных сред базируются на усовершенствовании сервиса доступа к высокотехнологичному экспериментальному оборудованию и современным специализированным программным средствам – «лаборатория как сервис» (laboratory as a service) [12–14]. Именно такой сервис позволяет обучающимся выполнять натурные и вычислительные экспериментальные исследования в режиме удаленного доступа по сети интернет из любой локации.

Актуальность развития данного сервиса связана с повышением его эффективности. К основным направлениям повышения эффективности сервиса относятся повышение пропускной способности лабораторного оборудования, входящего в состав удаленных лабораторий, а также его функциональной насыщенности в части экспериментальных исследований как в разрезе мультидисциплинарности, так и приобретаемых в процессе обучения практик. Пути решения проблемы в части повышения пропускной способности высокотехнологичного экспериментального оборудования авторами данной статьи уже изложены в ряде работ [14–15], а подход к решению проблемы повышения функциональной насыщенности экспериментального оборудования является предметом данной статьи.

1. Метод мультидисциплинарного применения экспериментального оборудования с удаленным доступом

Основой технического обеспечения удаленных лабораторий являются технические средства обучения (ТСО) [16], разработанные с применением сквозной цифровой технологии, в том числе технологии ин-

тернета вещей (internet of things, IoT) [2–4, 17–19]. К таким ТСО в числе других относятся многопользовательские распределенные измерительно-управляющие системы (МРИУС), реализующие технологию эксплуатации высокотехнологичного оборудования (измерительных средств, средств вычислительной техники, автоматизированных лабораторных макетов/стендов/установок) на основе концепции мультиарендности [14]. Схема интеграции МРИУС в опорную четырехуровневую архитектуру IoT приведена на *рисунке 1* [20, 21].

Процесс создания образцов МРИУС как соответствующих IoT-систем базируется на интеграции целого пула цифровых технологий, которые, в свою очередь, могут стать предметом отдельных экспериментальных исследований в дополнение к целевым исследованиям в предметной области, определяемой соответствующими автоматизированными макетами/стендами/установками (*рисунок 1*). Кроме того, передовые технологии проектирования таких IoT-систем также могут служить отдельным предметом лабораторных исследований в разрезе сквозных циклов автоматизированного проектирования как отдельных элементов, так и данных систем в целом. Таким образом, рассматриваемые современные ТСО в виде МРИУС (как соответствующих IoT-систем) характеризуются следующими направлениями лабораторных исследований:

- ◆ проведение натуральных экспериментальных исследований в целевой предметной области, определяемой конкретными АЛМ или их совокупностью (целевое назначение МРИУС);
- ◆ исследование технологий, лежащих в основе функционирования МРИУС (дополнение к целевому назначению);
- ◆ исследование технологий, используемых при проектировании МРИУС (дополнение к целевому назначению).

Каждое из данных направлений характеризуется определенной областью исследований и своим набором развиваемых в процессе обучения практик, приведенных в *таблице 1*. Для более подробного анализа составляющих эксперимента в *таблице 1* вводятся следующие уточнения:

- ◆ «учебным экспериментом» называются натурные экспериментальные исследования, предусмотренные соответствующими учебными курсами и/или программами дисциплин;
- ◆ к «научному эксперименту» отнесены натурные экспериментальные исследования, направленные

на получение информации о новых, ранее не исследованных процессах и/или явлениях (в рамках учебного процесса).

В своей совокупности перечисленные направления позволяют применять соответствующие МРИУС как ТСО для разработки учебных курсов, носящих мультидисциплинарный характер. Это, в свою очередь, позволяет развивать у обучающихся в рамках профессиональных компетенций такие навыки, как «системные способности», «когнитивные способности» и «решение сложных проблем», которые являются достаточно востребованными в основных секторах цифровой экономики. Кроме того, ряд направлений позволяет реализовывать контекстное обучение, например, в такой области исследования, как технология сквозного автоматизированного проектирования.

Как известно, возрастающая функциональная сложность и стоимость устройств, комплексов и систем затрудняют надлежащее оснащение учебно-исследовательских лабораторий их современными образцами, как объектами соответствующих экспериментальных исследований [22–24]. При этом использование свойства МРИУС, как IoT-системы (*рисунок 1б*), а именно совместного взаимодействия нескольких МРИУС, обеспечивает возможность исследования на их основе нескольких вариантов реализации устройств/комплексов/систем в целом. Организация таких исследований заключается в следующем. Соответствующие АЛМ, реализующие вариативность исполнения функциональных узлов/устройств/комплексов, могут размещаться как в одной локации и предусматривать возможность их соединения на физическом уровне для организации их взаимодействия, так и могут быть распределены территориально по нескольким локациям. В данном случае представляется возможным их «собрать» (эмулировать процесс их совместного функционирования) в составе общего устройства/комплекса/системы на **сервисном уровне** (*рисунок 1*) посредством организации взаимодействия М2М на **коммуникационном уровне**. Такой вид взаимодействия реализуется посредством создания цифровых «слепков» соответствующих сигналов (оцифровки их фрагментов) с последующим обменом ими между МРИУС различных локаций. В целях реализации такого взаимодействия в определенных образцах МРИУС предусматриваются технические устройства (средства) для записи цифровых отсчетов соответствующих сигналов и/или формирования сигналов по их оцифрованным фрагментам.

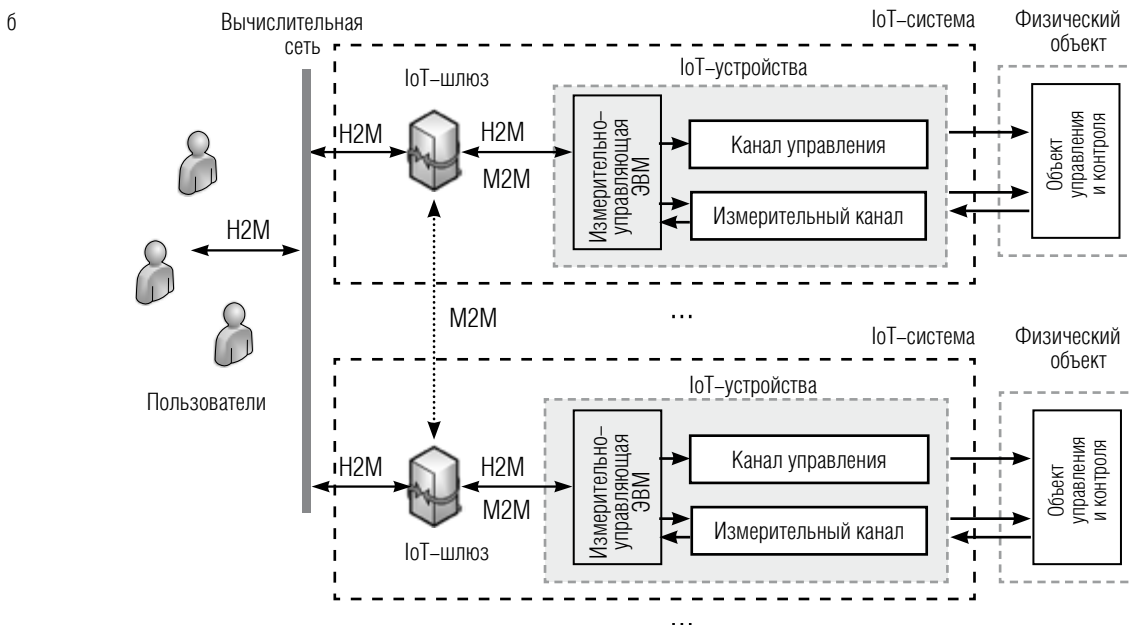
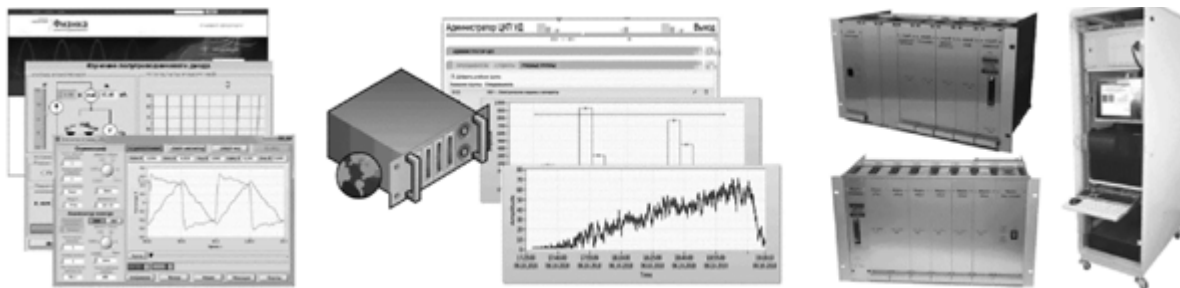
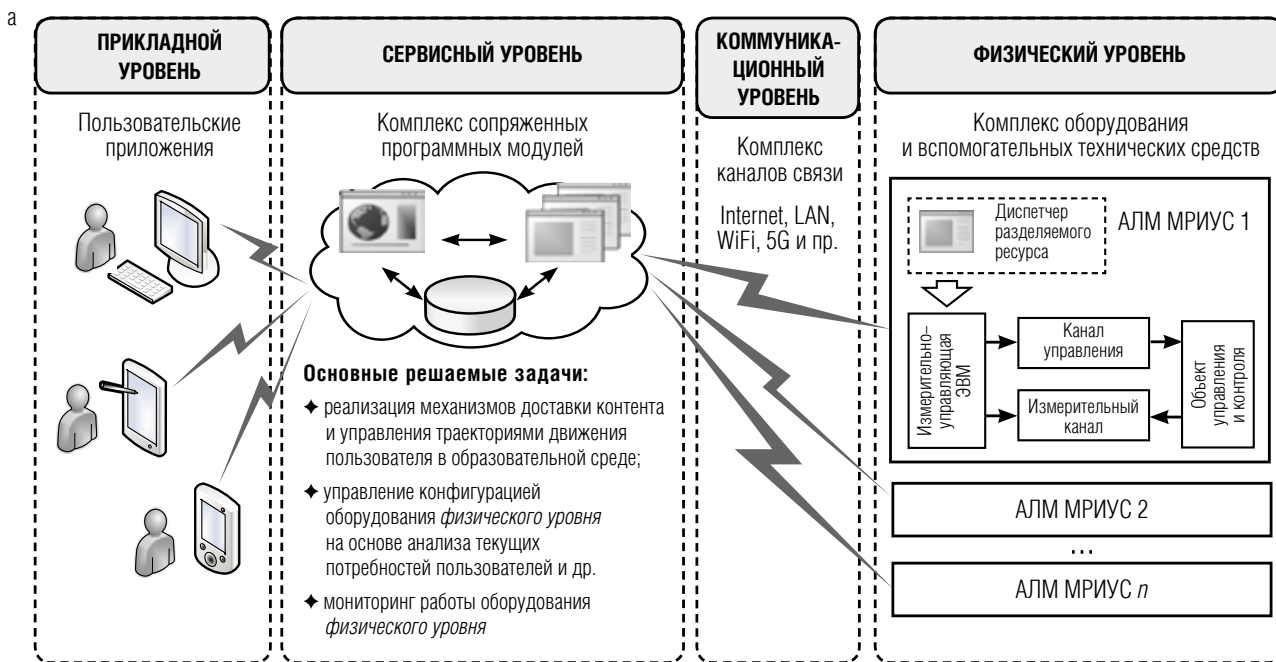


Рис. 1. МРИУС как IoT-система с четырехуровневой архитектурой:
 а – уровни IoT; б – МРИУС как IoT-система;
 АЛМ – автоматизированный лабораторный макет;
 H2M, M2M – принципы организации взаимодействия (Human-to-Machine, Machine-to-Machine)

Таблица 1.

Направления мультидисциплинарных исследований на основе МРИУС

№ п/п	Направление исследований	Область исследований	Виды экспериментальных исследований	Развиваемые практики в области разработки/исследований
1.	Предметная область, определяемая АИМ, а также своими МРИУС как IoT-систем в целом	<p>1.1 Физические процессы или явления в отдельных функциональных узлах или устройствах РЭС, а также устройствах комплексах и системах РЭС.</p> <p>1.2 Методы организации внешнего (сетевое) взаимодействия между элементами IoT-систем по принципу M2M</p>	<p>Учебные / научные</p>	<p>1. Применение современного ИКТ-инструментария для анализа процессов, протекающих в РЭС.</p> <p>2. Применение принципов построения IoT-систем как одного из перспективных направлений в приборостроении.</p> <p>3. Применение МРИУС для автоматизации учебного и научного эксперимента, как сегмента современной ЦОС*).</p> <p>4. Применение методов электронной педагогики, повышающих качество преподавания технических дисциплин*).</p> <p>5. Управление индивидуальными образовательными траекториями в ЦОС*).</p>
2.	Технологии, лежащие в основе функционирования МРИУС	2.1 Средства дистанционного управления объектами и технологическими процессами по вычислительным сетям	Учебные	<p>Применение технологий передачи данных в IoT-системах</p> <p>Применение дисциплин обслуживания запросов с приоритетами в СМО.</p> <p>Исследование методов повышения пропускной способности МРИУС как СМО.</p> <p>Применение программных средств для исследования динамики функционирования СМО</p> <p>Методы формального описания закономерностей деятельности оператора в человеко-машинных системах</p> <p>Применение методов функционального тестирования ГИП для человеко-машинных систем (систем управления объектами, виртуальных измерительных систем и др.)</p> <p>Применение специализированных программных средств для цифровой, статистической и прочей обработки результатов экспериментальных исследований</p> <p>Применение компьютерных измерительных технологий при разработке IoT-систем</p> <p>3.1 Применение методов математического моделирования в процессе проектирования IoT-систем и кибер-физических систем в целом.</p> <p>3.2 Применение методов идентификации и верификации математических моделей в процессе исследований электрических характеристик РЭС.</p> <p>3.3 Применение методов разработки современной электронной конструкторской документации.</p> <p>3.4 Изучение особенностей методического обеспечения для сквозного автоматизированного проектирования РЭС на базе САЕ/CAD/CAM/PLM-систем (конвейерное, циклическое и итерационное решение проектных задач на базе специализированных инженерных методик)</p>
		2.2 Технологии и протоколы передачи данных по цифровым каналам	Учебные / научные	
		2.3 Статистические закономерности передачи трафика по цифровым каналам	Научные	
		2.4 Процессы функционирования и диспетчеризации запросов в МРИУС как в интерактивных диалоговых системах (системах массового обслуживания, СМО)	Учебные / научные	
		2.5 Поведение пользователей в эргатических (человеко-машинных) системах	Научные	
3.	Технологии проектирования МРИУС	2.6 Технологии функционального тестирования графического интерфейса пользователя (ГИП)	Учебные / научные	
		2.7 Методы обработки результатов экспериментальных исследований	Учебные	
		2.8 Компьютерные измерительные технологии	Учебные	
		3.1 Технологии сквозного автоматизированного проектирования / «Цифровой двойник»	Учебные	
		3.2 Технологии и средства разработки прикладного ПО (frontend/backend) специализированных IoT-систем	Учебные	

*1) Развиваемые практики в процессе переподготовки педагогических кадров

В качестве примера такой системы, реализующей данный принцип взаимодействия, на *рисунке 2* приведен пример структурной схемы IoT-суперсистемы для обеспечения процесса подготовки и переподготовки специалистов для авиакосмической отрасли. В данной системе на основе комплексирования взаимодействий Н2М и М2М реализуется макет системы спутниковой связи через бортовой ретрансляционный комплекс (ретранслятор) космического аппарата, элементами которой являются отдельные экземпляры МРИУС распределенных локаций.

В рамках выполняемых на основе данной системы экспериментальных исследований пользователю с помощью макетов оборудования передающей земной станции (локация 1) предоставляется возможность формирования ВЧ-сигнала с заданными параметрами (число сигналов (несущих) в полосе, скорость передачи данных, используемый вид модуляции и др.), например, фрагмент комплексной огибающей которого оцифровывается и передается по вычислительной сети в локацию 2. В локации 2 данный сигнал с использованием соответствующих технических средств воспроизводится и подается на вход макета ретранслятора или имитатора радиоканала, имитирующего условия прохождения сигнала в космической системе с учетом неравномерности амплитудно-частотной характеристики и группового времени запаздывания ретранслятора, нелинейности амплитудной характеристики его усилителя, фазовых шумов гетеродинов и др. Оцифрованный фрагмент сигнала с выхода ретранслятора передается по вычислительной сети в локацию 3. С использованием технических средств в локации 3 на основе полученного цифрового «слепок» сигнал может быть сформирован на входе макетов оборудования приемной станции для оценки возможности его обнаружения, приема, обработки и др., либо оценки обобщенных качественных характеристик исследуемой системы связи (вероятность битовой ошибки, модуль вектора ошибки и пр.) [25].

При этом также следует отметить, что при описанном подходе макеты оборудования, расположенные в локациях 1–3, продолжают являться объектами полноценных экспериментальных исследований для обучаемых каждой локации, проводимых в рамках соответствующих учебных курсов.

Рассмотрим систематизированные области экспериментальных исследований, приведенные в *таблице 1*. Реализация исследований в соответствии с пп. 2.1–2.2, 2.6 основывается на создании образца МРИУС в виде открытой платформы (с открыты-

ми программными интерфейсами). На основе этой платформы обучаемый может апробировать и провести функциональное тестирование собственноручно разработанного и созданного графического интерфейса пользователя для удаленного управления АЛМ по различным каналам связи на основе ПЭВМ, смартфона, ноутбука [26, 27] (с использованием различных программных технологий и протоколов связи, на базе различных операционных систем), а также экспериментально апробировать разработанные алгоритмы диспетчеризации.

Исследование статистических закономерностей и динамики функционирования МРИУС как системы массового обслуживания (пп. 2.3–2.5) реализуется на базе обработки массива соответствующих статистических данных. К таким данным относятся моменты времени отправки заданий и получения результатов их выполнения, момент времени поступления, начала и завершения выполнения задания на измерительно-управляющей ЭВМ, длительности выполняемых функциональных операций и другие. Такие данные могут быть получены в процессе функционирования образцов МРИУС, например, на основе разработанного и апробированного специализированного программного модуля, обеспечивающего измерение и их централизованные накопление и хранение [14].

Таким образом, информативность МРИУС как ТСО и их дальнейшее мультidisциплинарное применение в рамках обозначенных направлений должны закладываться на этапе проектирования посредством их реализации на основе пула современных технологий, а также с использованием научного подхода к их созданию с применением современных средств автоматизированного проектирования. Такой подход должен обеспечивать гармонизацию решаемых функциональных пользовательских задач (в соответствующей предметной области АЛМ и планируемых направлений междисциплинарного применения) и требуемых технических характеристик функционирования как СМО (среднее время реакции на запросы пользователей, число одновременно работающих пользователей и др.).

2. Методология проектирования МРИУС как специализированных IoT-систем

На основе результатов проведенных исследований была разработана предметно-ориентированная методология проектирования МРИУС, объединяющая как известные [28], так и новые разработанные подходы:

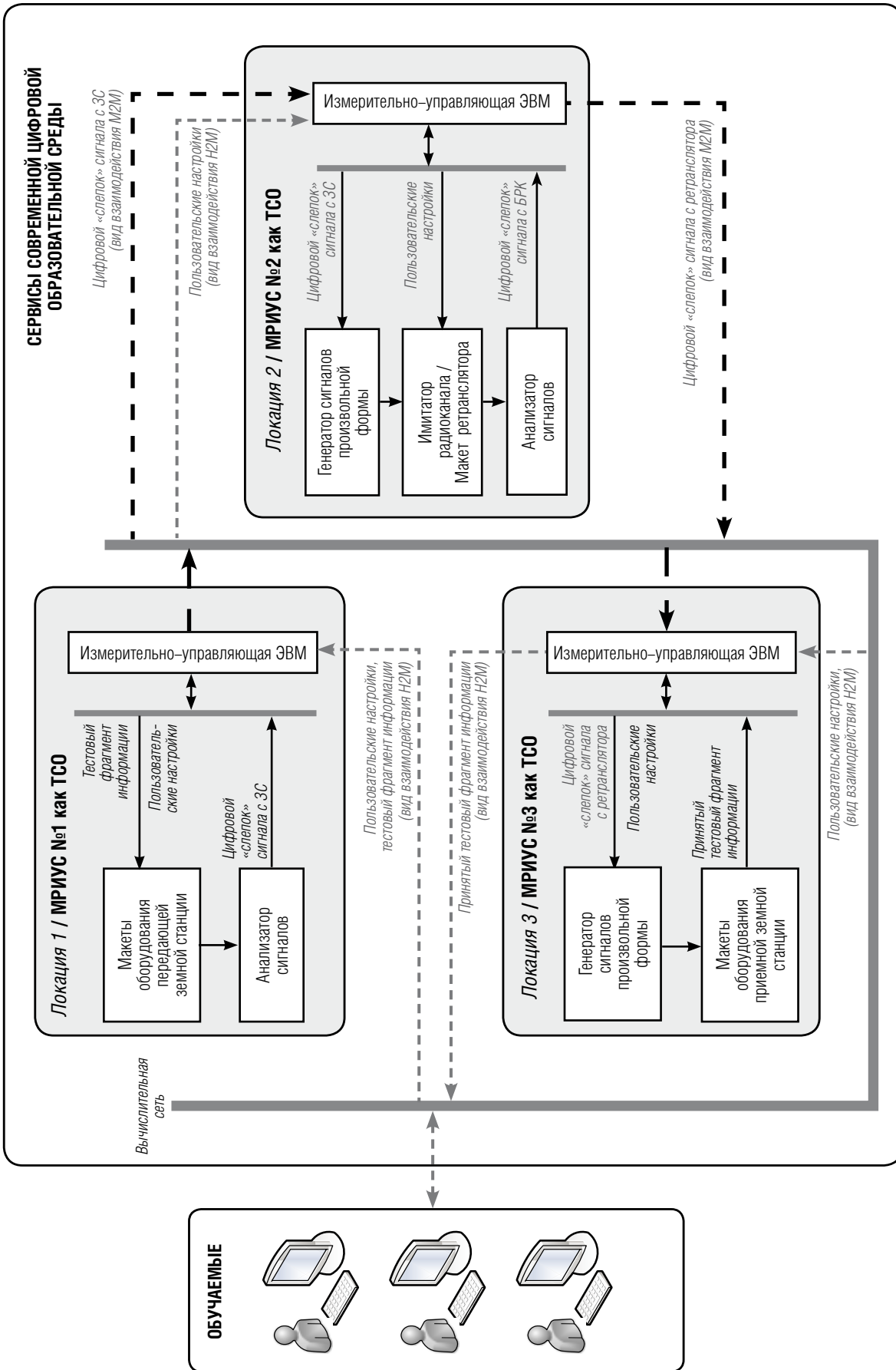


Рис. 2. Пример построения исследовательского макета системы спутниковой связи в виде IoT-суперсистемы, элементами которой являются отдельные экземпляры МРИУС распределенных локаций

- ◆ методы повышения оперативности функционирования (метод оптимизации операций управления, метод временного разделения многократных измерений, метод распараллеливания функциональных операций);
- ◆ математические модели динамики функционирования, учитывающие гетерогенность поведения и обслуживания пользователей, вариативность реализуемых алгоритмов диспетчеризации, зависимость длительностей выполняемых функциональных операций измерения и управления от параметрического и функционального содержания заданий и др., а также реализующие их адаптируемые программные модули;
- ◆ методики решения частных задач (проектирование аппаратно-программного обеспечения, формирование граничных параметров сценария диалога, расчета функций параметрической чувствительности и др.), которые обеспечивают решения проектных задач в формализованном виде;
- ◆ комплекс эвристических решений (набор базовых структур аппаратного построения МРИУС, алгоритмы диспетчеризации разделяемого ресурса, алгоритмы спектрального измерения параметров сигналов и реализующие их программные модули, базовые унифицированные виртуальные приборы, базовые шаблоны проектирования графического интерфейса пользователя).

Обобщенная структурная схема методологии приведена на *рисунке 3*. На основе выстроенного взаимодействия компонентов методологии и комплексного применения современных средств автоматизированного проектирования в рамках методики проектирования МРИУС как специализированной IoT-системы осуществляется поиск проектного решения с улучшенными показателями технического уровня. Также в целях информационной поддержки процесса проектирования предложен информационный состав базы знаний инженерных решений, аккумулирующей и реализующей возможность применение опыта предыдущих разработок.

Результаты проектирования в виде комплектов электронной программной и конструкторской документации (ПД и КД), результаты анализа различных характеристик МРИУС и др. интегрируются в составе интерактивного электронного технического руководства (ИЭТР) [29]. ИЭТР для соответствующих образцов МРИУС также являются вспомогательным элементом учебного процесса в рамках внедрения практик в области технологии сквозного автома-

тизированного проектирования. Сопровождение процесса опытной/промышленной эксплуатации промышленных образцов МРИУС осуществляется на основе предложенной методики адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации (увеличение количества пользователей, вариативность «времени размышления» пользователей, развертывание новых локаций доступа и др.) [14].

Практическое применение предложенной методологии и методики адаптации МРИУС способствовало сокращению сроков их проектирования на 20–30%, позволило в 3–6 раз расширить множество альтернативных вариантов проектных решений, синтезируемых в соответствии с заданными требованиями технического задания, увеличить в ряде случаев число одновременно обслуживаемых терминалов пользователей на 30% и более, а также создать ряд промышленных образцов МРИУС в целях ресурсного обеспечения процессов натуральных экспериментальных исследований как ОСПК, так и производственной деятельности. Предложенная методология в комплексе с методикой адаптации позволяет обеспечить эффективное применение МРИУС в составе сервиса “laboratory as a service” с одновременной минимизацией затрат на аппаратно-программное обеспечение за счет реализации концепции мультиарендности. Высокая эффективность такого сервиса, реализуемого на базе МРИУС, способствует широким возможностям применения методов электронной педагогики при подготовке и переподготовке инженерных кадров для цифровой экономики.

Сервис “laboratory as a service” позволяет перейти нескольким учебным заведениям или учебным центрам (как эксплуатирующим организациям) от развертывания и обслуживания высокотехнологичного экспериментального оборудования к его временной аренде и удаленному доступу через интернет (реализации экономической модели совместного потребления – sharing economy) [12–15, 30].

Заключение

Рассмотренные направления мультидисциплинарных исследований и предложенный подход к их реализации на базе МРИУС обеспечиваются за счет следующих факторов:

- ◆ широкий спектр экспериментальных лабораторных исследований в составе современных образовательных сред, позволяющий обучающимся изучать различные аспекты IoT-систем (принци-

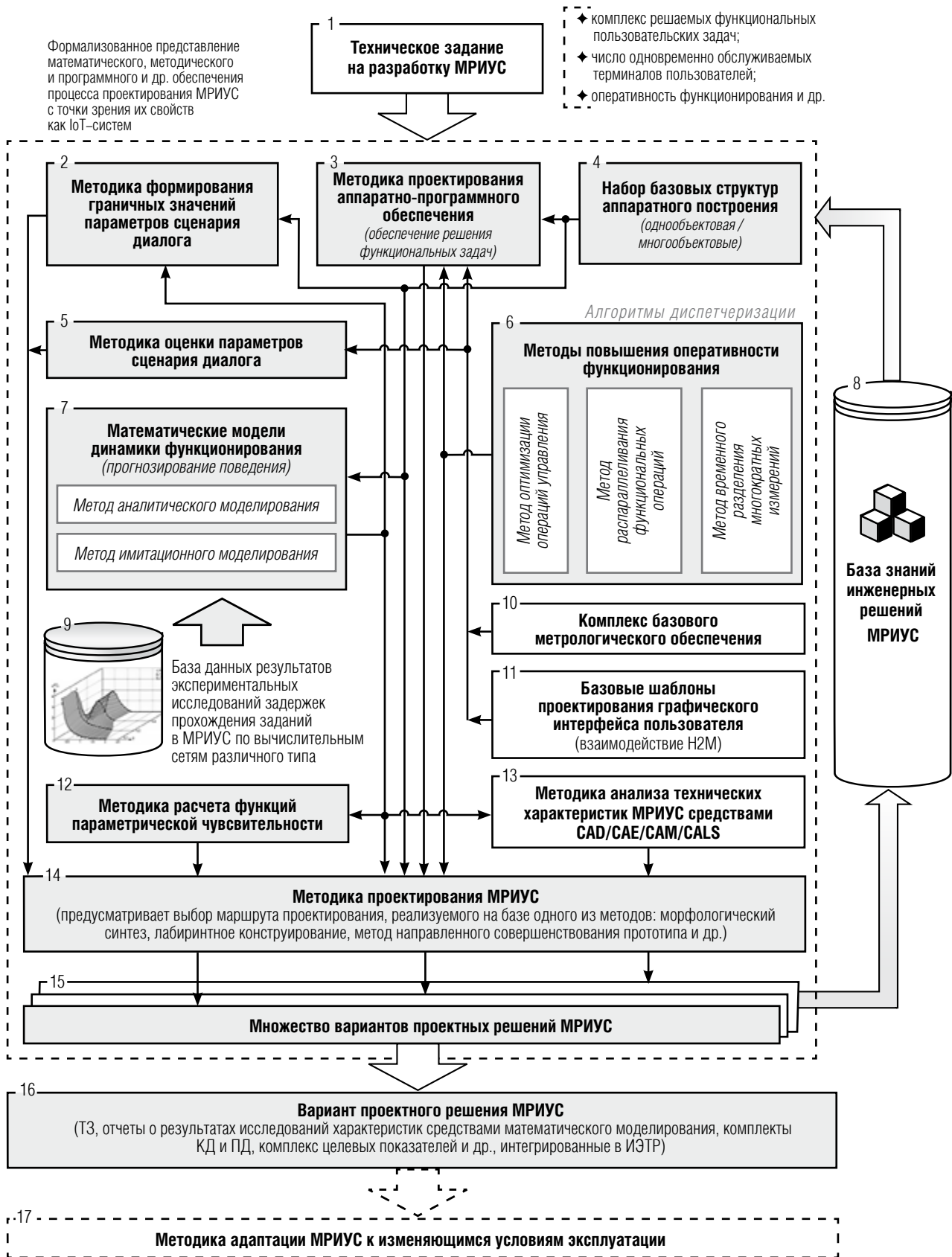


Рис. 3. Методология проектирования МРИУС с заданными техническими характеристиками:
блоки 2–7, 9–11 – решение проектных задач в областях исследований по пп. 2.1–2.8 таблицы 1;
блоки 3, 8, 11, 13, 14, 16, 17 – решение проектных задач в областях исследований по пп. 3.1, 3.2 таблицы 1

пы функционирования, методы проектирования, целевое назначение) с учетом ключевых аспектов стратегии «Образования 4.0» и направлений развития электронного приборостроения;

- ◆ развитие у обучающихся в процессе учебного и научного экспериментов практик, ориентированных на решение широкого круга задач в области цифровизации различных сфер человеческой деятельности;
- ◆ развитие у обучающихся в рамках профессиональных компетенций таких навыков, как «системные способности», «когнитивные способности» и «решение сложных проблем», которые

востребованы в основных секторах цифровой экономики;

- ◆ разработка образцов МРИУС с заданными характеристиками (число обслуживаемых пользователей, время реакции) за счет взаимосвязанных компонентов предметно-ориентированной методологии, которые включают предложенные методы, модели, методики и специализированное программное обеспечение, а также обеспечивают эффективное применение современных систем автоматизированного проектирования;
- ◆ повышение эффективности и функциональных возможностей сервиса “laboratory as a service”

для процессов подготовки и переподготовки кадров в области электронного приборостроения на базе методов электронной педагогики. ■

Литература

1. Кузьминов Я.И. Вирусная революция: как пандемия изменит наш мир. [Электронный ресурс]: <https://www.rbc.ru/opinions/society/27/03/2020/5e7cd7799a79471ed230b774> (дата обращения: 29.03.2020).
2. Cyber-physical laboratories in engineering and science education / М.Е. Auer, А.К.М. Azad, А. Edwards, Т. De Jong (eds.). Springer, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-76935-6.
3. IOT enabling measurement applications in Industry 4.0: Platform for remote programming ATES / L. Angrisani [et al.] // Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT. Brescia, Italy, 16–18 April 2018. P. 40–45. DOI: 10.1109/METROI4.2018.8428326.
4. Elsaadany A., Soliman M. Experimental evaluation of Internet of Things in the educational environment // International Journal of Engineering Pedagogy. 2017. Vol. 7. No 3. P. 50–60. DOI: 10.3991/ijep.v7i3.7187.
5. Chen H. Applications of cyber-physical system: A literature review // Journal of Industrial Integration and Management. 2017. Vol. 2. No 3, Article no 1750012. DOI: 10.1142/S2424862217500129.
6. Lee E.A. The past, present and future of cyber-physical systems: A focus on models // Sensors. 2015. Vol. 15. No 3. P. 4837–4869. DOI: 10.3390/s150304837.
7. SerdarAsan S., Isikli E. Engineering education trends in the digital era. IGI Global, 2020.
8. Заславская О.Ю., Кириллов А.И. Новые возможности информатизации образования – «Интернет вещей» // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Информатизация образования». 2017. Т. 14. № 2. С. 140–147. DOI: 10.22363/2312-8631-2017-14-2-140-147.
9. Heradio R., de la Torre L., Dormido S. Virtual and remote labs in control education: A survey // Annual Reviews in Control. 2016. Vol. 42. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2016.08.001.
10. Gomes L., Bogosyan S. Current trends in remote laboratories // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2009. Vol. 56. No 12. P. 4744–4756. DOI: 10.1109/TIE.2009.2033293.
11. Hussin A.A. Education 4.0 made simple: ideas for teaching // International Journal of Education & Literacy Studies. 2018. Vol. 6. No 3. P. 92–98. DOI: 10.7575/aiac.ijels.v6n.3p.92.
12. Laboratory as a Service (LaaS): A model for developing and implementing remote laboratories as modular components / M. Tawfik [et al.] // 11th Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV 2014). Porto, Portugal, 26–28 February 2014. P. 11–20. DOI: 10.1109/REV.2014.6784238.
13. Дешко И.П., Кряженков К.Г. Лабораторный практикум как сервис в курсах по информационно-коммуникационным технологиям // Перспективы науки и образования. 2015. № 1 (13). С. 70–74.
14. Комаров В.А., Сарафанов А.В., Тумковский С.Р. Многопользовательские распределенные измерительно-управляющие системы как элемент современной цифровой образовательной среды // Информационно-управляющие системы. 2019. № 2. С. 83–94. DOI: 10.31799/1684-8853-2019-2-83-94.
15. Комаров В.А., Сарафанов А.В., Тумковский С.Р. Сравнение эффективности методов повышения пропускной способности экспериментального оборудования с удаленным доступом // Информационно-управляющие системы. 2019. № 6. С. 68–76. DOI: 10.31799/1684-8853-2019-6-68-76.
16. ГОСТ Р 53626-2009. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Технические средства обучения. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2010.
17. Ray P.P. A survey on Internet of Things architectures / Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. 2018. Vol. 30. No 3. P. 291–319. DOI: 10.1016/j.jksuci.2016.10.003.
18. El-Hasan T.S. Internet of Thing (IoT) based remote labs in engineering // 2019 6th International Conference on Control, Decision and

- Information Technologies (CoDIT). Paris, France, 23–26 April 2019. P. 976–982. DOI: 10.1109/CoDIT.2019.8820591.
19. Remote control of laboratory equipment for basic electronics courses: A LabVIEW-based implementation / B. Popovic [et al.] // *Computer Applications in Engineering Education*. 2013. Vol. 21. No E1. P. E110–E120. DOI: 10.1002/cae.20531.
 20. ISO/IEC 20924:2018. Information technology – Internet of Thing (IoT) – Vocabulary. [Электронный ресурс]: <https://www.iso.org/standard/69470.html> (дата обращения: 15.10.2020).
 21. ISO/IEC 30141:2018. Internet of Thing (IoT) – Reference Architecture. [Электронный ресурс]: <https://www.iso.org/standard/65695.html> (дата обращения: 15.10.2020).
 22. Kucuk K. RTWiFi-Lab: A real-time Wi-Fi laboratory platform on USRP and LabVIEW for wireless communications education and research // *Computer Applications in Engineering Education*. 2018. Vol. 26. No 1. P. 111–124. DOI: 10.1002/cae.21865.
 23. Bykhovsky D. Teaching wireless channel modeling with software defined radio // *Computer Applications in Engineering Education*. 2020. Vol. 28. No 2. P. 314–323. DOI: 10.1002/cae.22195.
 24. Toyoda Y., Koike N., Li Y. An FPGA-based remote laboratory: Implementing semi-automatic experiments in the hybrid cloud // 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). Madrid, Spain, 24–26 February 2016. P. 24–29. DOI: 10.1109/REV.2016.7444435.
 25. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. М.: Вильямс, 2003.
 26. Odeh S. A web-based remote lab platform with reusability for electronic experiments in engineering education // *International Journal of Online and Biomedical Engineering*. 2014. Vol. 10. No 4. P. 40–45. DOI: 10.3991/ijoe.v10i4.3729.
 27. Reconfigurable web-interface remote lab for instrumentation and electronic learning / J.M. Sierra-Fernandez [et al.] // 2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). Porto, Portugal, 27–30 April 2020. P. 713–717. DOI: 10.1109/EDUCON45650.2020.9125380.
 28. Кирсанов А.Ю., Салахова А.Ш. Экспериментальное исследование статистической динамики системы дистанционного управления экспериментом в многопользовательском режиме // *Нелинейный мир*. 2009. Т. 7. № 5. С. 405–409.
 29. ГОСТ Р 54088-2017. Интегрированная логистическая поддержка. Эксплуатационная и ремонтная документация в форме и интерактивных электронных технических руководств. Основные положения и общие требования. М.: Стандартинформ, 2018.
 30. Spreading remote laboratory scope through a federation of nodes: VISIR case / F. Garcia-Loro [et al.] // *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*. 2019. Vol. 14. No 4. P. 107–116. DOI: 10.1109/RITA.2019.2950131.

Об авторах

Комаров Владимир Александрович

кандидат технических наук, доцент;

начальник группы комплексного моделирования космических систем, управление проектирования космических систем и комплексов связи, ретрансляции информации и специального назначения, Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева», 662972, г. Железногорск, ул. Ленина, д. 52;

доцент базовой кафедры «Радиоэлектронная техника информационных систем», Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79;

E-mail: VKomarov@iss-reshetnev.ru

ORCID: 0000-0001-9210-9908

Сарафанов Альберт Викторович

доктор технических наук, профессор;

директор по развитию бизнеса, департамент систем управления предприятиями, ООО «Витте Консалтинг» (группа компаний «Ай-Тек»), 117036, Москва, ул. Кедрова, д. 15;

E-mail: Sarafanov@i-teco.ru

ORCID: 0000-0003-4264-9388

IoT systems in the process of multidisciplinary training of personnel for the digital economy and their design

Vladimir A. Komarov^{a,b}

E-mail: VKomarov@iss-reshetnev.ru

Albert V. Sarafanov^c

E-mail: Sarafanov@i-teco.ru

^a JSC “Academician M.F. Reshetnev Information Satellite Systems”

Address: 52, Lenin Street, Zheleznogorsk 662972, Russia

^b Siberian Federal University

Address: 79, Svobodny Prospect, Krasnoyarsk 660041, Russia

^c Vitte Consulting Co. (I-Teco Group)

Address: 15, Kedrova Street, Moscow 117036, Russia

Abstract

In the context of digitalization of the most knowledge-intensive sectors of the domestic economy, the development of an industrial training system in the field of electronic instrumentation is of great importance. The key areas of its development with the use of information and communication technologies include the development and improvement of the technological basis for training and retraining of personnel in engineering educational programs. One of the elements of this basis is the service of multi-user remote access via the internet to a high-tech experimental equipment laboratory as a service based on internet of things (IoT) systems. Within the framework of this service, an urgent problem is to increase the functional saturation of automated stands/installations, which is currently characterized by a paucity of scientific research. The purpose of the research is to expand the areas of experimental research carried out in the mode of multiuser remote access based on specialized IoT systems. As a result, a method of multidisciplinary application of specialized IoT systems was developed. This consists of the technical implementation of possibilities for additional research: research into technologies underlying both multi-user distributed measuring and control systems and IoT systems in general; research into technologies used in their end-to-end computer-aided design; research into joint interaction of several geographically distributed automated stands/installations, implemented on the basis of a four level IoT reference architecture. A methodology for the design of multi-user distributed measuring and control systems as specialized IoT systems has also been developed, focused on solving multidisciplinary research problems in an interactive dialogue mode based on single sample of experimental equipment. The methodology mobilizes organizational, technical and methodological support for the process of creating such systems with specified target characteristics. In general, the method and methodology developed open up opportunities for systematically implementing the basic principles of the “Education 4.0” concept in the preparation and retraining of engineering personnel in the field of electronic instrumentation.

Key words: internet of things (IoT); IoT system; laboratory as a service; technical teaching tools; multiuser distributed measuring and control systems; design methodology.

Citation: Komarov V.A., Sarafanov A.V. (2021) IoT systems in the process of multidisciplinary training of personnel for the digital economy and their design. *Business Informatics*, vol. 15, no 2, pp. 47–59.
DOI: 10.17323/2587-814X.2021.2.47.59

References

1. Kuzminov Ya.I. (2020) *The Viral Revolution: how the pandemic will change our world*. Available at: <https://www.rbc.ru/opinions/society/27/03/2020/5e7cd7799a79471ed230b774> (accessed 29 March 2020) (in Russian).
2. Auer M.E., Azad A.K.M., Edwards A., De Jong T., eds. (2018) *Cyber-physical laboratories in engineering and science education*. Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-76935-6.
3. Angrisani L., Cesaro U., D’Arco M., Grillo D., Tocchi A. (2018) IOT enabling measurement applications in Industry 4.0: Platform for remote programming ATES. Proceedings of the *Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, Brescia, Italy, 16–18 April 2018*, pp. 40–45. DOI: 10.1109/METRO14.2018.8428326.
4. Elsaadany A., Soliman M. (2017) Experimental evaluation of Internet of Things in the educational environment. *International Journal of Engineering Pedagogy*, vol. 7, no 3, pp. 50–60. DOI: 10.3991/ijep.v7i3.7187.
5. Chen H. (2017) Applications of cyber-physical system: A literature review. *Journal of Industrial Integration and Management*, vol. 2, no 3, article no 1750012. DOI: 10.1142/S2424862217500129.
6. Lee E.A. (2015) The past, present and future of cyber-physical systems: A focus on models. *Sensors*, vol. 15, no 3, pp. 4837–4869. DOI: 10.3390/s150304837.
7. SerdarAsan S., Isikli E. (2020) *Engineering education trends in the digital era*. IGI Global.
8. Zaslavskaya O.Y., Kirillov A.I. (2017) New features of education informatization – “internet of things”. *RUDN Journal of Informatization in Education*, vol. 14, no 2, pp. 140–147 (in Russian). DOI: 10.22363/2312-8631-2017-14-2-140-147.
9. Heradio R., de la Torre L., Dormido S. (2016) Virtual and remote labs in control education: A survey. *Annual Reviews in Control*, vol. 42, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2016.08.001.
10. Gomes L., Bogosyan S. (2009) Current trends in remote laboratories. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no 12, pp. 4744–4756. DOI: 10.1109/TIE.2009.2033293.

11. Hussin A.A. (2018) Education 4.0 made simple: ideas for teaching. *International Journal of Education & Literacy Studies*, vol. 6, no 3, pp. 92–98. DOI: 10.7575/aiac.ijels.v6n.3p.92.
12. Tawfik M., Salzmann C., Gillet D., Lowe D., Saliah-Hassane H., Elio Sancristobal E., Castro M. (2014) Laboratory as a Service (LaaS): A model for developing and implementing remote laboratories as modular components. Proceedings of the *11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV 2014)*, Porto, Portugal, 26–28 February 2014, pp. 11–20. DOI: 10.1109/REV.2014.6784238.
13. Deshko I.P., Kriazhenkov K.G. (2015) Labs as a service at study ICT courses. *Perspectives of Science and Education*, no 1 (13), pp. 70–74 (in Russian).
14. Komarov V.A., Sarafanov A.V., Tumkovskiy S.R. (2019) Multi-user distributed information-control systems as an element of modern digital educational environment. *Information and Control Systems*, no 2, pp. 89–94 (in Russian). DOI: 10.31799/1684-8853-2019-2-83-94.
15. Komarov V.A., Sarafanov A.V., Tumkovskiy S.R. (2019) Comparison of the effectiveness of methods to increase the throughput of experimental equipment with remote access. *Information and Control Systems*, no 6, pp. 68–76 (in Russian). DOI: 10.31799/1684-8853-2019-6-68-76.
16. Standardinform (2010) *GOST R 53626-2009. Information and communication technologies in education. Training equipment. General statements*. Moscow: Standardinform (in Russian).
17. Ray P.P. (2018) A survey on Internet of Things architectures. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, vol. 30, no 3, pp. 291–319. DOI: 10.1016/j.jksuci.2016.10.003.
18. El-Hasan T.S. (2019) Internet of Thing (IoT) based remote labs in engineering. Proceedings of the *2019 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, Paris, France, 23–26 April 2019, pp. 976–982. DOI: 10.1109/CoDIT.2019.8820591.
19. Popovic B., Popovic N., Mijic D., Stankovski S., Ostojic G. (2013) Remote control of laboratory equipment for basic electronics courses: A LabVIEW-based implementation. *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 21, no E1, pp. E110–E120. DOI: 10.1002/cae.20531.
20. ISO (2018) *ISO/IEC 20924:2018. Information technology – Internet of Thing (IoT) – Vocabulary*. Available at: <https://www.iso.org/standard/69470.html> (accessed 15 October 2020).
21. ISO (2018) *ISO/IEC 30141:2018. Internet of Thing (IoT) – Reference Architecture*. Available at: <https://www.iso.org/standard/65695.html> (accessed 15 October 2020).
22. Kucuk K. (2018) RTWiFi-Lab: A real-time Wi-Fi laboratory platform on USRP and LabVIEW for wireless communications education and research. *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 26, no 1, pp. 111–124. DOI: 10.1002/cae.21865.
23. Bykhovskiy D. (2020) Teaching wireless channel modeling with software defined radio. *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 28, no 2, pp. 314–323. DOI: 10.1002/cae.22195.
24. Toyoda Y., Koike N., Li Y. (2016) An FPGA-based remote laboratory: Implementing semi-automatic experiments in the hybrid cloud. Proceedings of the *2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, Madrid, Spain, 24–26 February 2016, pp. 24–29. DOI: 10.1109/REV.2016.7444435.
25. Sklar B. (2003) *Digital communication. Theoretical bases and practical application*. Moscow: Williams (in Russian).
26. Odeh S. (2014) A web-based remote lab platform with reusability for electronic experiments in engineering education. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, vol. 10, no 4, pp. 40–45. DOI: 10.3991/ijoe.v10i4.3729.
27. Sierra-Fernandez J.M., Florencias-Oliveros O., Espinosa-Gavira M.J., Palomares-Salas J.C., Aguera-Perez A., Gonzalez-de-la-Rosa J.J. (2020) Reconfigurable web-interface remote lab for instrumentation and electronic learning. Proceedings of the *2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Porto, Portugal, 27–30 April 2020, pp. 713–717. DOI: 10.1109/EDUCON45650.2020.9125380.
28. Kirsanov A.Yu., Salakhova A.Sh. (2009) Experimental study of the statistical dynamics of a remote control system for an experiment in multiuser mode. *Non-Linear World*, vol. 7, no 5, pp. 405–409 (in Russian).
29. Standatdinform (2018) *GOST R 54088-2017. Integrated logistic support. Operating and maintenance documentation in interactive electronic technical manuals format. General provisions and general requirements*. Moscow: Standatdinform (in Russian).
30. Garcia-Loro F., Baizan P., Blazquez-Merino M., Plaza P., Aroca A.M., Orduna P., Cristobal E.S., Castro M. (2019) Spreading remote laboratory scope through a federation of nodes: VISIR case. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 14, no 4, pp. 107–116. DOI: 10.1109/RITA.2019.2950131.

About the authors

Vladimir A. Komarov

Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor;

Head of the Complex Modeling Space Systems Group, Department of Design of Space Systems and Communication Complexes, Information Relaying and Special Purpose, JSC “Academician M.F. Reshetnev Information Satellite Systems”, 52, Lenin Street, Zheleznogorsk 662972, Russia; Associate Professor, Basic Department of Radio-Electronic Equipment of Information Systems, Siberian Federal University, 79, Svobodny Prospect, Krasnoyarsk 660041, Russia;

E-mail: VKomarov@iss-reshetnev.ru

ORCID: 0000-0001-9210-9908

Albert V. Sarafanov

Dr. Sci. (Tech.), Professor;

Business Development Director, Department of Enterprise Management Systems, Vitte Consulting Co. (I-Teco Group), 15, Kedrova Street, Moscow 117036, Russia;

E-mail: Sarafanov@i-teco.ru

ORCID: 0000-0003-4264-9388