

Многопользовательские распределенные измерительно-управляющие системы как элемент современной цифровой образовательной среды

В. А. Комаров^а, канд. техн. наук, доцент, orcid.org/0000-0001-9210-9908

А. В. Сарафанов^б, доктор техн. наук, профессор, orcid.org/0000-0003-4264-9388

С. Р. Тумковский^в, доктор техн. наук, профессор, orcid.org/0000-0002-1647-2171, STumkovskiy@hse.ru

^аАО «Информационные спутниковые системы им. акад. М. Ф. Решетнёва», Ленина ул., 52, Железнодорожск, 662972, РФ

^бООО Витте Консалтинг (ГК «АЙ-ТЕКО»), Кедрова ул., 15, Москва, 117036, РФ

^вНациональный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Мясницкая ул., 20, Москва, 101000, РФ

Постановка проблемы: одним из ключевых сдерживающих факторов качественной подготовки инженерных кадров для цифровой экономики является отсутствие в региональных университетах России доступа к современному лабораторному оборудованию. Среди эффективных подходов к решению указанной проблемы находится организация удаленного доступа к экспериментальному оборудованию на основе концепции мультиарендности. **Цель:** разработка способа организации высокотехнологичной цифровой образовательной среды, обеспечивающей выполнение лабораторных исследований в удаленном многопользовательском режиме при подготовке инженерных кадров с применением технологии контекстного обучения. **Методы:** создание унифицированной структуры сегмента цифровой образовательной среды, основой которой являются многопользовательские распределенные измерительно-управляющие системы с унифицированной структурой и специальной методикой адаптации таких систем под различные условия их эксплуатации. **Результаты:** разработана и апробирована унифицированная структура сегмента цифровой образовательной среды. Ее основными элементами являются web-лаборатория, обеспечивающая регламентированный доступ обучаемых к лабораторным исследованиям, и многопользовательские распределенные измерительно-управляющие системы, реализующие эти исследования посредством параллельного обращения обучаемых к разделяемым ресурсам – автоматизированным лабораторным макетам/стандам/установкам. Созданный программный комплекс для сбора и обработки статистической информации о функционировании многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем как систем массового обслуживания лежит в основе предложенной методики их адаптации к различным условиям функционирования. Предложенный сегмент цифровой образовательной среды позволяет реализовывать ряд направлений контекстного обучения, в том числе применение в экспериментальных исследованиях современных компьютерных измерительных технологий; исследование характеристик цифрового двойника лабораторного макета/установки с применением типовых методик; идентификацию и верификацию математических моделей как исследуемых объектов, устройств, процессов и явлений, так и образцов многопользовательских систем в виде соответствующих систем массового обслуживания; апробацию различных алгоритмов диспетчеризации разделяемого ресурса. **Практическая значимость:** предложенная структура сегмента образовательной среды обеспечивает подготовку инженеров с применением инновационных аппаратно-программных решений; эксплуатацию экспериментального оборудования на основе концепции мультиарендности, в десятки раз сокращая себестоимость оснащения одного рабочего места обучающегося; применение на системном уровне технологии контекстного обучения.

Ключевые слова – автоматизированный лабораторный практикум с удаленным доступом, автоматизированный лабораторный макет, удаленный доступ, web-лаборатория, мультиарендность, виртуальный лабораторный стенд, многопользовательский доступ, многопользовательская распределенная измерительно-управляющая система, цифровая образовательная среда.

Для цитирования: 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

For citation: Komarov V. A., Sarafanov A. V., Tumkovskiy S. R. Multi-user distributed information-control systems as an element of modern digital educational environment. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2019, no. 2, pp. 83–94 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2019-2-83-94

Введение

В настоящее время сдерживающими факторами качественной подготовки высококвалифицированных специалистов, востребованных в рамках цифровой экономики, является отсутствие в организациях высшего и среднего профессионального образования специалистов необходимой квалификации для разработки и преподава-

ния современных учебных программ в области техники и технологий; методик получения обучающимися практических навыков в процессе обучения; доступа к высокотехнологичному лабораторному оборудованию; доступа к современным программному обеспечению и технологиям.

Неравномерное региональное распределение ресурсов в РФ приводит к тому, что качество подготовки специалистов в регионах существенно

отличается от качества подготовки в центральных вузах и тем более в ведущих западных образовательных центрах [1].

Выровнять качество оказываемых образовательных услуг в любой локации РФ можно за счет:

- предоставления удаленного доступа к высококачественным учебным материалам в цифровых форматах [2];

- организации удаленного доступа к лабораторному оборудованию, виртуальным лабораторным практикумам, цифровым двойникам высокотехнологичного оборудования и технологических процессов [3];

- методической поддержки образовательного процесса за счет применения создаваемых лучшими учебными заведениями учебно-методических разработок;

- привития практических навыков в рамках проектной модели обучения;

- создания базы знаний атомарных объектов учебного контента («квантов знаний», снабженных контрольно-измерительными материалами), что позволит автоматически формировать учебные курсы и образовательные программы в зависимости от требуемых компетенций;

- формирования индивидуального трека обучения и построения вектора профессионального развития на основе фиксации и анализа цифрового следа обучающегося и т. д.

Наибольшее развитие сегодня в РФ получило создание и предоставление удаленного доступа к высококачественному цифровому контенту массовых открытых онлайн-курсов, представленных на следующих интернет-ресурсах: <https://openedu.ru/>; [coursera https://www.coursera.org/](https://www.coursera.org/); <https://online.edu.ru/ru/about> и др.

Существенным недостатком данных платформ является либо отсутствие, либо предоставление в очень ограниченном масштабе удаленного доступа к современному лабораторному оборудованию, что в свою очередь резко ограничивает их использование в инженерном образовании. При этом процесс подготовки специалистов в области техники и технологий базируется на различных лабораторных исследованиях, затраты на организацию и проведение которых при традиционном подходе составляют до 60–70 % общей стоимости обучения. Организация лабораторных исследований в системе e-learning с применением современных цифровых технологий позволяет, во-первых, реализовывать полноценную подготовку специалистов в области техники и технологий; во-вторых, кратно сократить затраты на аппаратную часть лабораторных исследований; в-третьих, сделать современную цифровую образовательную среду (ЦОС) высокотехнологичной, что обеспечит ее гибкость для применения педагогических технологий контекстного обучения.

Такой подход также является актуальным в процессе развития экосистемы цифровой экономики РФ в рамках хаба «Образование и кадры» [4] в целях ее вхождения и дальнейшего развития в составе мирового экономического пространства [4].

В мировой практике в качестве перспективного направления к форме эксплуатации специализированного экспериментального оборудования в удаленном режиме позиционируется метод, основанный на концепции мультиарендности [5–11]. Основным подходом реализации данного метода являются многопользовательские распределенные измерительно-управляющие системы (МРИУС) [5, 6, 8].

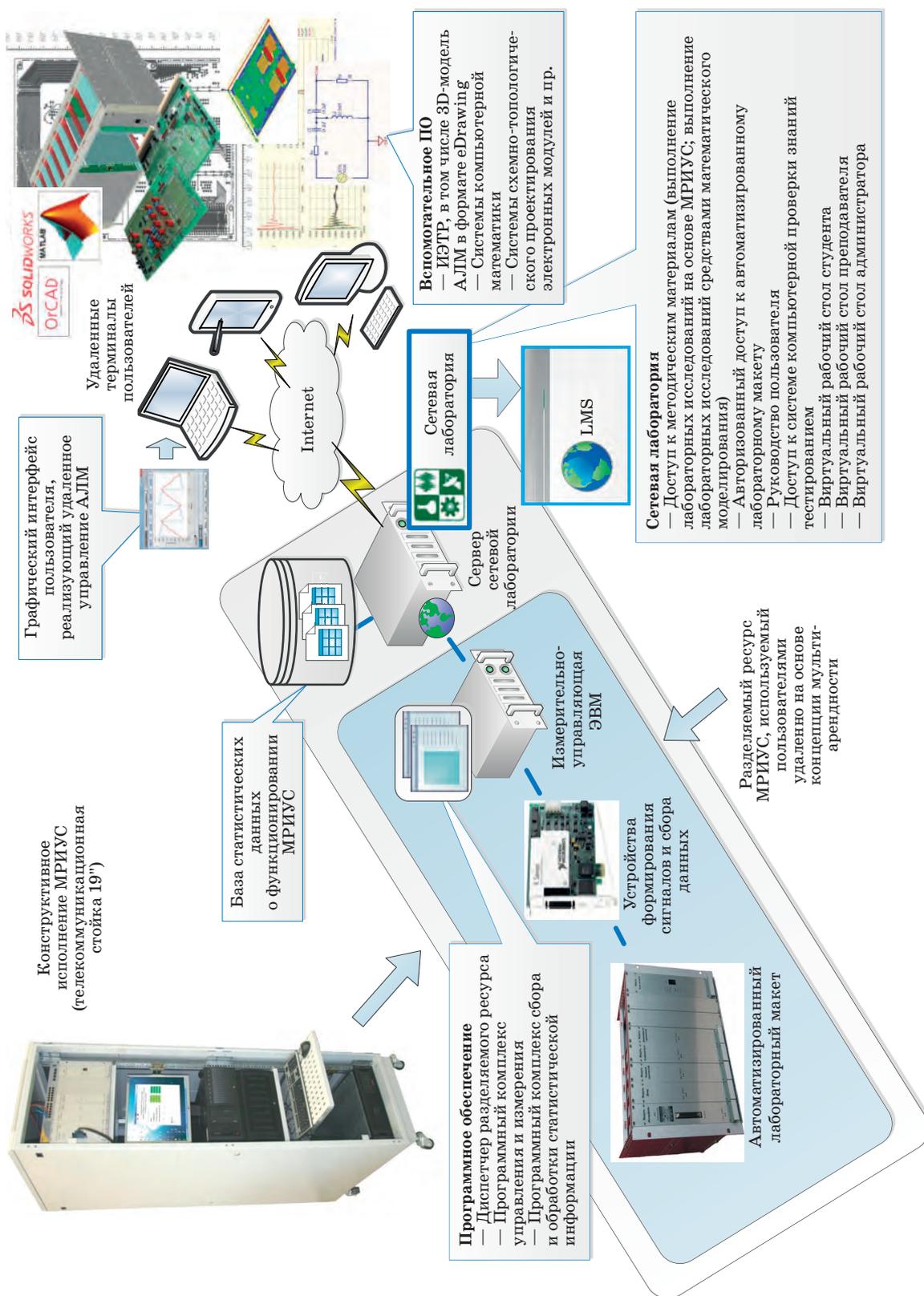
Таким образом, разработка методологических подходов применения МРИУС в качестве инструментария информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в составе ЦОС для организации дистанционных лабораторных исследований на базе современного экспериментального оборудования применительно к подготовке специалистов в области техники и технологий с использованием методов электронной педагогики и контекстного обучения является достаточно актуальной задачей [12].

Организация цифровой образовательной среды с применением МРИУС

Опыт авторов в области разработки, внедрения и эксплуатации МРИУС в различных предметных областях [6, 13–15] на протяжении более 10 лет привел к созданию унифицированной структуры сегмента ЦОС на основе МРИУС (рис. 1) и специальной методики адаптации МРИУС под различные условия их эксплуатации. Предложенная структура придает ЦОС характер высокотехнологичной среды и обеспечивает возможность совмещения натурального и вычислительного экспериментов. При этом соответствующее экспериментальное оборудование для выполнения натурального эксперимента используется на основе концепции мультиарендности.

Согласно представленному построению сегмента современной ЦОС, для каждого изучаемых в рамках лабораторных исследований объектов, устройств, процессов или явлений формируется соответствующая инфраструктура ЦОС, включающая в свой состав все или несколько из приведенных на рис. 1 компонентов. В общем случае в составе сегмента современной ЦОС в соответствии с предложенной структурой построения выделяются следующие ее основные компоненты.

1. Сетевая лаборатория [6, 13, 15], размещаемая на специализированном сервере, представляющая собой комплекс специализированных интерфейсов и интерактивных форм, на основе которых обеспечивается регламентированный



■ Рис. 1. Унифицированная структура сегмента современной ЦОС на основе МРИУС
 ■ Fig. 1. The unified structure of the modern digital educational environment based on distributed measurement and control system

авторизованный доступ как к методическому обеспечению лабораторных исследований, так и к ресурсам МРИУС, а также другим компонентам ЦОС (см. рис. 1).

2. МРИУС, включающая в свой состав:

- автоматизированный лабораторный макет/стенд/установку (АЛМ), определяющий специфику исследуемых объектов, устройств, процессов или явлений;

- устройства сбора данных с АЛМ, а также устройства формирования тестовых и (или) управляющих сигналов;

- измерительно-управляющую ЭВМ, обеспечивающую под управлением программного комплекса управления и измерения выполнение необходимых функциональных операций на основе АЛМ, устройств формирования сигналов и сбора данных в соответствии с поступающими с терминалов пользователей запросами;

- графический интерфейс пользователя (обеспечивает возможность выполнения пользователем экспериментальных исследований на основе АЛМ в интерактивном диалоговом режиме с удаленных терминалов посредством формирования в цифровом виде соответствующих запросов. Интерфейс реализуется, как правило, на основе web-технологий или в виде отдельных исполняемых приложений);

- диспетчер разделяемого ресурса (обеспечивает разрешение конфликтов при совместном обращении пользователей к разделяемому ресурсу МРИУС, а также осуществляет управление процедурой обслуживания поступивших запросов в соответствии с реализуемым алгоритмом диспетчеризации);

- программный комплекс сбора и обработки статистической информации (фиксирует с определенной дискретностью в базе данных основные данные о процессе взаимодействия каждого пользователя с разделяемым ресурсом МРИУС);

- удаленные терминалы пользователей (стационарные и мобильные ПЭВМ, планшеты — входят функционально).

3. База статистических данных о функционировании МРИУС (реализует накопление и хранение данных о параметрах процесса функционирования МРИУС, зафиксированных программным комплексом сбора и обработки статистической информации).

4. Комплекс вспомогательного программного обеспечения, включающий в свой состав:

- интерактивное электронное техническое руководство (комплект конструкторской документации, включая 3D-модель конструкции АЛМ, руководство пользователя, комплект технических отчетов по результатам исследований физических характеристик АЛМ [электрических, тепловых, показателей надежности и т. п.]

методами математического моделирования на стадии проектирования МРИУС) [16];

- комплекс базовых математических моделей (3D-геометрических, электрических, тепловых, надежности), представляющих собой формализованное описание цифровых двойников автоматизированных установок/стендов/макетов и (или) исследуемых объектов, устройств, процессов и явлений с точки зрения различных аспектов моделирования [17];

- набор специализированных САЕ/CAD/САМ-систем (используются для исследования характеристик цифровых двойников);

- интерфейс доступа к базе данных о функционировании МРИУС (реализуется в составе сетевой лаборатории или в виде автономного приложения).

Аппаратно-программные компоненты разделяемого ресурса МРИУС (см. рис. 1), решающие задачи автоматизации процесса формирования сигналов, сбора и обработки данных, измерения физических величин и их зависимостей, реализуются на основе типовых решений в области компьютерных измерительных технологий (National Instruments, Keysight, Adlink, «Актаком» и др.). Доступ к вспомогательному программному обеспечению в рамках ЦОС может быть предоставлен как непосредственно через сетевую лабораторию на основе концепции Software as a Service, так и путем установки на соответствующие терминалы пользователей в рамках специально оборудованных локаций доступа (компьютерных классов или отдельных рабочих мест) [11].

Организация выполнения научных и учебных экспериментальных исследований на базе рассмотренной ЦОС с применением МРИУС реализуется через обращение пользователей к специализированной сетевой web-лаборатории. Лаборатория может функционировать автономно, как элемент ЦОС, или инкорпорироваться в LMS-систему.

В общем случае в состав ЦОС входит несколько МРИУС, комплексированных на уровне сервера сетевой лаборатории.

Дистанционное выполнение соответствующих экспериментальных исследований осуществляется пользователем в интерактивном диалоговом режиме на основе доступного через сетевую лабораторию графического интерфейса пользователя. Посредством взаимодействия с элементами графического интерфейса, функционирующего на удаленном терминале (см. рис. 1), пользователь формирует необходимые параметры эксперимента (настройки конфигурации исследуемого узла или устройства, параметры исследуемого процесса, значения управляющих воздействий и тестовых сигналов и пр.), которые в дальнейшем в виде запроса передаются по сети на измерительно-управляющую ЭВМ. Запросы с термина-

лов пользователей, поступающие на измерительно-управляющую ЭВМ в порядке, определяемом алгоритмом работы диспетчера разделяемого ресурса, выполняются на основе АЛМ и соответствующих устройств формирования сигналов и сбора данных (см. рис. 1) посредством их «кратковременного захвата». Результаты выполнения запросов пользователей в виде измеренных параметров, графиков, зависимостей и массивов данных передаются обратно на терминал пользователя для их последующей обработки и отображения на графическом интерфейсе [5–11].

В целях исследования загрузки экспериментального оборудования, используемого на основе концепции мультиарендности, исследования функционирования МРИУС как системы массового обслуживания, оценки длительности выполняемых в соответствии с поступающими запросами функциональных операций, проведения оценки времени наработки оборудования, а также оценки удобства работы пользователей в состав аппаратно-программного обеспечения МРИУС дополнительно введен программный комплекс сбора и обработки статистической информации (см. рис. 1). В процессе функционирования МРИУС данный программный комплекс обеспечивает фиксацию моментов времени отправки заданий и получения результатов их выполнения на терминалах пользователей; времени поступления, начала и завер-

шения их выполнения на измерительно-управляющей ЭВМ; длительности соответствующих функциональных операций, выполняемых аппаратно-программным обеспечением МРИУС в соответствии с поступающим потоком запросов; служебной информации о параметрах сеанса работы пользователя (IP-адрес, идентификатор сессии и пр.), а также содержания всех обрабатываемых запросов персонализированно для каждого пользователя. Это позволяет централизованно формировать базу статистических данных о функционировании конкретной МРИУС посредством обновления ее содержимого с заданным интервалом времени (например, 1 час, 12 часов, 24 часа и т. д.). Фрагмент экспериментально полученных статистических данных для промышленного образца МРИУС — многопользовательского аппаратно-программного комплекса с удаленным доступом (АПК УД) «Электроника» [14] — показан на рис. 2.

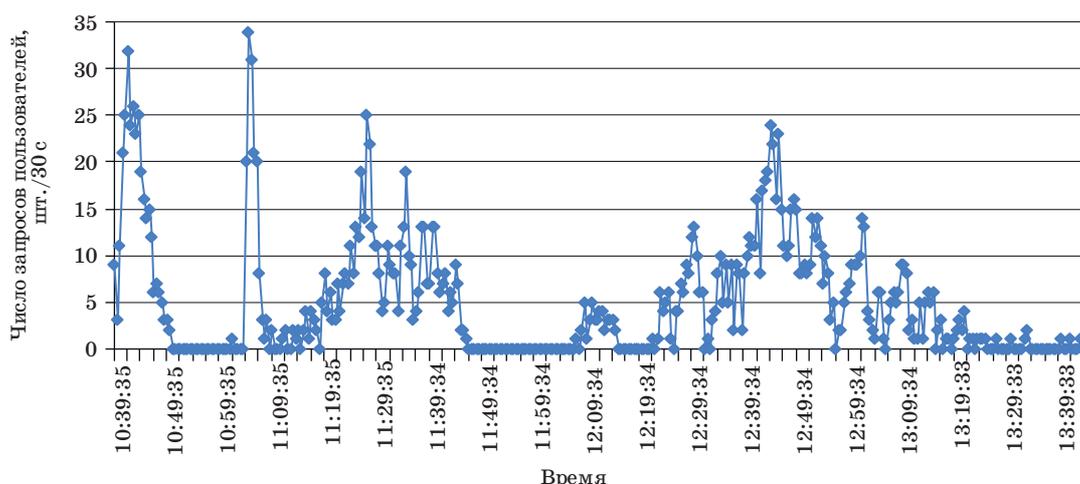
Примеры основных целевых функций, отражающих различные варианты обработки и представления непрерывно накапливаемой статистической информации в процессе функционирования МРИУС (рис. 3), приведены в таблице.

Диаграмма, построенная по результатам обработки статистической информации о моментах времени поступления запросов пользователей на измерительно-управляющую ЭВМ на примере АПК УД «Электроника» (см. рис. 3), характеризу-

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| IP RTF8(10.2.73.96) | IP RTF8(10.2.73.96) | IP RTF8(10.2.73.96) | IP RTF8(10.2.73.96) | IP RTF8(10.2.73.96) | IP RTF8(10.2.73.96) |
| ID 2044319 | ID 2044319 | ID 2044319 | ID 2044319 | ID 2044319 | ID 2044319 |
| N модуля 3 |
| N submodule 0 |
| Задание Задание 1 |
| Время отправки 9:10:36,375 30.11.2017 | Время отправки 9:11:05,796 30.11.2017 | Время отправки 9:11:33,046 30.11.2017 | Время отправки 9:11:47,109 30.11.2017 | Время отправки 9:12:00,078 30.11.2017 | Время отправки 9:12:10,578 30.11.2017 |
| Время начала выполнения 9:10:37,484 30.11.2017 | Время начала выполнения 9:11:06,906 30.11.2017 | Время начала выполнения 9:11:34,171 30.11.2017 | Время начала выполнения 9:11:48,234 30.11.2017 | Время начала выполнения 9:12:01,187 30.11.2017 | Время начала выполнения 9:12:11,687 30.11.2017 |
| Тобсл,с 1,109 | Тобсл,с 1,418 | Тобсл,с 1,419 | Тобсл,с 1,43 | Тобсл,с 1,351 | Тобсл,с 1,413 |
| Тож,с 1,161 | Тож,с 1,471 | Тож,с 1,47 | Тож,с 1,482 | Тож,с 1,402 | Тож,с 1,465 |

■ **Рис. 2.** Фрагмент статистических данных процесса функционирования многопользовательского АПК УД «Электроника»: IP — сетевой адрес удаленного терминала пользователя; ID — уникальный идентификатор сеанса работы; N модуля — номер объектного модуля АПК УД, определяющий тип исследуемого электрорадиоэлемента; N submodule — номер типонаминала электрорадиоэлемента в составе соответствующего объектного модуля

■ **Fig. 2.** Fragment of statistical data of the functioning process the multi-user hardware and software complex with remote access “Electronics”: IP — the network address of the remote user terminal; ID — a unique identifier for the user session; N module — the number of the object module, which determines the type of the radio electronic element under study; N submodule — the number of the type label of an electrical radio element as part of the corresponding object module



■ **Рис. 3.** Фрагмент временной диаграммы числа поступивших запросов с терминалов пользователей на измерительно-управляющую ЭВМ для сеанса одновременной работы 22 терминалов пользователей в течение двух академических часов

■ **Fig. 3.** A fragment of the timing diagram of requests from user terminals to the measuring and controlling computer for a simultaneous work of 22 user terminals during two academic hours

■ Основные варианты обработки и представления статистической информации о функционировании МРИУС

■ The main variants of processing and presentation of statistical information on the functioning of distributed measurement and control system

| Характеристика зависимости, вычисляемой на основе обработки экспериментальных данных | Целевая функция вычисляемой зависимости | Направление изменений, вносимых в МРИУС или в процесс ее эксплуатации |
|---|---|--|
| Гистограмма распределения числа запросов в течение анализируемого периода (дня/ недели/семестра и пр.) | Анализ модели поведения пользователей в МРИУС как в эргатической системе | Пересмотр организационных аспектов практических занятий на базе МРИУС — доступ к МРИУС с дополнительных локаций для определенных периодов времени эксплуатации. Верификация параметров математической модели МРИУС |
| Гистограмма распределения фактического числа пользователей в течение анализируемого временного интервала | Количественная оценка фактической загрузки МРИУС по числу обслуживаемых пользователей | Пересмотр организационных аспектов практических занятий на базе МРИУС — доступ к МРИУС с дополнительных локаций для определенных периодов времени эксплуатации |
| Процентное соотношение количества запросов по их принадлежности к отдельным компонентам АЛМ МРИУС (например, объектным модулям, исследуемым устройствам, узлам и пр.) | Анализ загрузки отдельных компонентов АЛМ МРИУС | Управление нагрузкой МРИУС: 1) реорганизация расписания доступа к МРИУС 2) подключение к МРИУС дополнительных (востребованных пользователями) экземпляров АЛМ или его компонентов 3) оперативное изменение алгоритма диспетчеризации разделяемого ресурса МРИУС с учетом специфики выполняемых исследований (измерений) |
| Число запросов с каждого терминала пользователей к МРИУС в пределах одной локации | Анализ удельной нагрузки на один персональный компьютер при выполнении экспериментальных исследований на базе МРИУС | 1. Возможное использование мощностей компьютерного учебного класса общего назначения для доступа к МРИУС 2. Организация дополнительных локаций для доступа к МРИУС |
| Гистограмма распределения объема циркулирующих данных в вычислительной сети в соответствии с полученной статистикой выполнения запросов за анализируемый период времени | Выявление «пиков» загрузки вычислительной сети при эксплуатации МРИУС | Выработка требований к пропускной способности сети для конкретной локации |

ет входящий поток запросов пользователей. На основе дальнейшей статистической обработки определяются параметры и вид распределения времени размышления пользователей между повторными запросами, которые учитываются в процессе верификации математической модели динамики функционирования МРИУС как системы массового обслуживания [18].

Методика адаптации МРИУС под различные условия эксплуатации

Анализ опыта внедрения ряда образцов МРИУС [6, 13–15, 19, 20] в учебный процесс и результатов исследования процесса их функционирования (времени реакции МРИУС на запросы пользователей, ее функциональных зависимостей от числа одновременно работающих пользователей и др.) на основе массива накопленных статистических данных выявили комплекс аспектов, требующих адаптации МРИУС к изменяющимся условиям их эксплуатации.

1. Значительное отклонение (более 40 %) в сторону увеличения количества пользователей от заложенных при проектировании МРИУС значений. Данный факт связан, например, с появлением дополнительных групп обучающихся и необходимостью введения для них дополнительных локаций доступа к МРИУС.

2. Значительное увеличение загрузки отдельных компонентов АЛМ. Проявляется, например, при формировании дополнительных групп обучающихся и локаций доступа к определенным составным компонентам АЛМ МРИУС. Примером может служить выполнение отдельных лабораторных исследований, в рамках которых дополнительно изучаются вопросы верификации и (или) идентификации параметров математических моделей отдельных исследуемых объектов, устройств, процессов и явлений на основе АЛМ или установки/стенда/макета в целом. Также данный аспект проявляется вследствие возникновения пиковой нагрузки, связанной, как правило, с предсессионной (аномальной) активностью обучающихся.

3. Необходимость задействования отдельных сочетаний исследовательских возможностей МРИУС с разработкой нового методического обеспечения в рамках реализации междисциплинарного (сквозного) использования разделяемого ресурса МРИУС (курсовое проектирование, курсы повышения квалификации, НИРС).

4. Результаты вариативности поведения пользователей с точки зрения влияния на время реакции МРИУС, выражающиеся:

— в возможном изменении в несколько раз времени «размышления» пользователей, например,

в зависимости от сложности и специфики выполняемых экспериментальных исследований;

— в наличии интервалов преимущественного формирования «однотипных» запросов, например, имеющих принадлежность к одному виду выполняемых измерений (осциллограммы, вольт-амперные характеристики, частотные характеристики) или определенному компоненту АЛМ, в рамках сеансов практических или лабораторных занятий.

Предложенная методика адаптации МРИУС к изменяющимся условиям эксплуатации в рамках выделенных аспектов в виде модели бизнес-процесса фрагмента жизненного цикла МРИУС в нотации BPMN (Business Process Model and Notation) приведена на рис. 4.

Методика отражает основные аспекты адаптации МРИУС к условиям ее эксплуатации. Данные аспекты реализуются посредством выполнения последовательности следующих основных шагов.

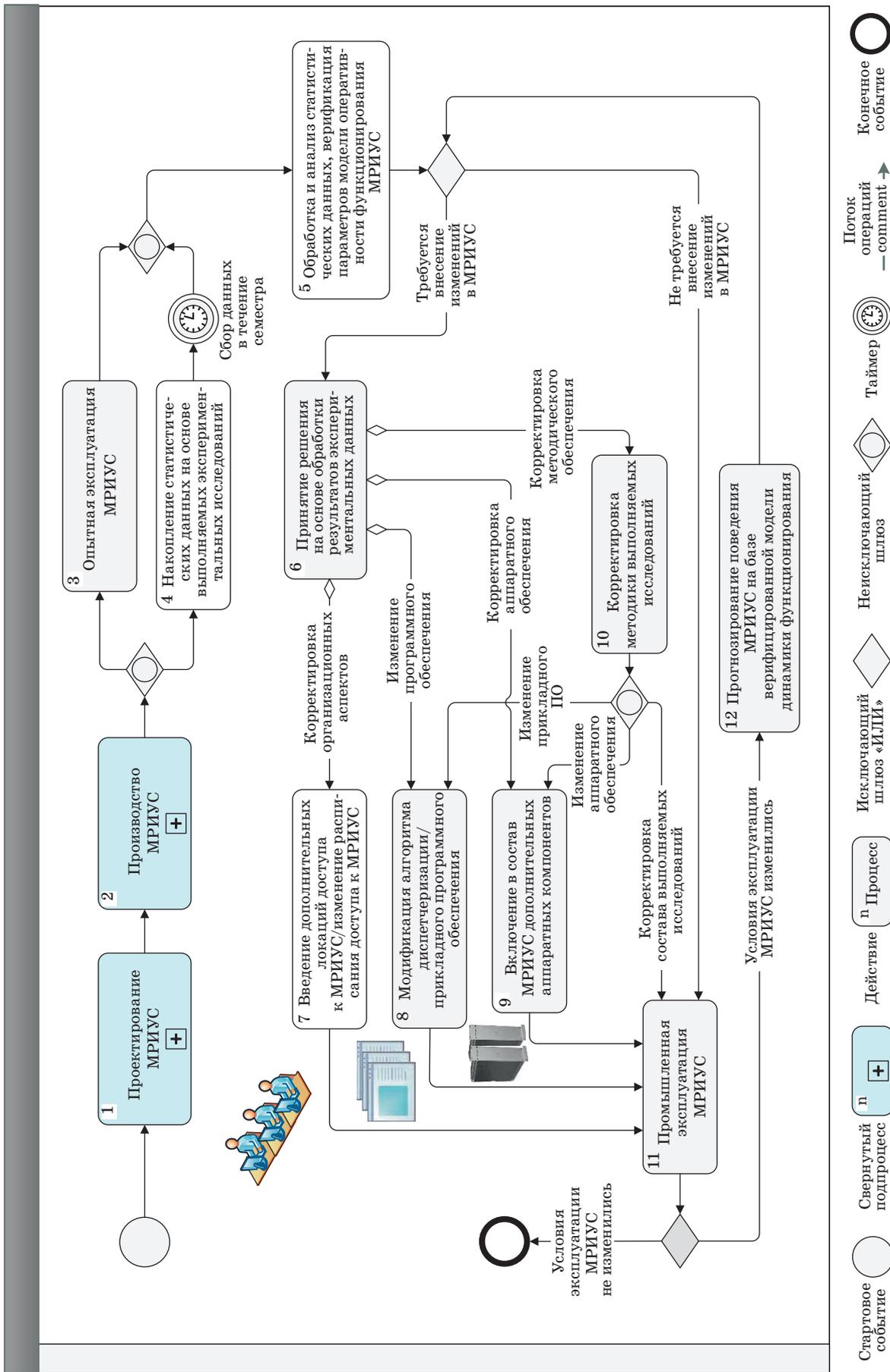
1. На основе анализа накапливаемых в процессе опытной эксплуатации МРИУС (блоки 3, 4) статистических данных (см. таблицу) выполняются идентификация и верификация соответствующей модели динамики функционирования МРИУС как системы массового обслуживания (блок 5), а также принятие решения о реализации соответствующих мероприятий (блок 6).

2. Верифицированная модель динамики функционирования МРИУС в дальнейшем используется для прогнозирования ее поведения при изменении ее параметров и (или) условий эксплуатации (блок 12).

3. Накопленные в процессе опытной эксплуатации статистические данные анализируются в целях принятия решения о необходимости внесения соответствующих технических и организационных изменений в МРИУС (блоки 7–10).

4. После внесения соответствующих изменений в МРИУС осуществляется ее дальнейшая эксплуатация (блок 11). При возникновении изменений условий эксплуатации МРИУС прогнозирование ее поведения и принятие решений о необходимости реализации комплекса мероприятий в дальнейшем осуществляется на основе верифицированной модели динамики ее функционирования (блок 12).

На основе накапливаемых статистических данных о работе каждого пользователя с МРИУС, комплексированных с данными о его работе в сетевой лаборатории (журнала работы соответствующего сервера), в дальнейшем формируется его «цифровая тень» пребывания в ЦОС. Анализ «цифровой тени» дает возможность выполнять соответствующую персонализацию ЦОС в части графического интерфейса пользователя МРИУС или декомпозиции состава выполняемых исследований, например, в соответствии с выделяе-



■ Рис. 4. Методика адаптации МРИУС к изменяющимся условиям эксплуатации
 ■ Fig. 4. Methods of adaptation distributed measurement and control system to changing operating conditions

мыми профилями пользователей (уровнем подготовки, особенностями субъективного восприятия контента и др.).

Направления контекстного обучения, реализуемые в цифровой образовательной среде с применением МРИУС

Реализация технологий контекстного обучения на основе рассмотренных выше сегмента ЦОС и принципов функционирования МРИУС выполняется в следующих направлениях.

1. Проведение лабораторных исследований в предметной области, определяемой конкретной МРИУС с применением современных компьютерных измерительных технологий (приобретаемый навык: работа с современными ИКТ-инструментами для решения прикладных задач).

2. Выполнение лабораторных исследований в предметной области, определяемой конкретной МРИУС с применением математической модели лабораторного макета/установки (приобретаемый навык: исследование характеристик технического объекта с применением математических моделей).

3. Исследование характеристик цифрового двойника лабораторного макета/установки с применением типовых методик сквозного автоматизированного проектирования современных приборов/мехатронных устройств (приобретаемый навык: применение цифрового двойника и интернет-технологий в процессе разработки новых образцов электронных/мехатронных устройств).

4. Анализ структуры интерактивного электронного технического руководства и его применение на различных стадиях жизненного цикла изделия (приобретаемый навык: применение компонентов технологии непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделия).

5. Идентификация и верификация как математических моделей исследуемых объектов, устройств, процессов и явлений, так и математических моделей образцов МРИУС в виде соответствующих систем массового обслуживания для формирования инструментария предсказательной (предиктивной) аналитики для этапов проектирования и эксплуатации (приобретаемый навык: применение методов математического моделирования для снижения объемов натурных испытаний технических объектов).

6. Анализ и выявление статистических закономерностей; апробация различных алгоритмов диспетчеризации; сравнение экспериментальных исследований с результатами математического моделирования режимов работы МРИУС на основе накопленного массива статистических данных о функционировании как АЛМ в целом, так и

его отдельных компонентов (объектных модулей/устройств/узлов, входящих в его состав) (приобретаемый навык: исследование принципов работы и основных характеристик современного ИКТ-инструментария).

7. Изучение и демонстрация принципов построения и функционирования МРИУС автоматизации учебного и научного эксперимента как сегмента современной ЦОС и как современного средства профессиональной практико-ориентированной подготовки специалистов в области техники и технологий (приобретаемый навык: владение методами электронной педагогики, повышающими качество преподавания технических дисциплин).

Реализация первого направления актуальна как для системы среднего образования, так и для систем среднего профессионального и высшего образования [1]. Реализация направлений 2–4 достаточно актуальна для направлений подготовки студентов в области техники и технологий системы высшего образования. Приобретаемые при этом студентами навыки позволяют им в дальнейшем легко адаптироваться в соответствующей профессиональной среде, которой в настоящее время и в перспективе будет соответствовать высокий уровень качества проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИР и ОКР), выполняемых с широким применением ИКТ. Пятое и шестое направления при реализации в системе высшего образования позволяют организовать НИР бакалавров и магистров, прививая при этом им элементы ИТ-культуры при проведении НИР и ОКР. Реализация седьмого направления позволяет по линии университетских структур повышения квалификации и переподготовки кадров привить школьным учителям и преподавателям вузов профессиональные и пользовательские навыки в части электронной педагогики и концепции построения современного ИКТ-инструментария, а также компьютерных измерительных технологий для экспериментальных исследований в рамках ЦОС. В разрезе электронной педагогики данное направление позволяет раскрыть новые возможности реализации на базе сегмента ЦОС таких методов и форм обучения, как электронное, мобильное, сетевое и смешанное.

Приобретаемые пользователями сегмента ЦОС навыки в характеризуемых выше направлениях относятся непосредственно к профессиональной деятельности будущих специалистов в сфере цифровой экономики.

Заключение

Разработанная авторами, апробированная и описанная выше структура сегмента ЦОС обла-

дает отличительными особенностями, которые позволяют:

— обеспечить ЦОС возможностью подготовки современных специалистов с применением вышеперечисленных методов электронной педагогики и инновационного ИКТ-инструментария;

— применять специализированное экспериментальное оборудование (лабораторные макеты, установки, стенды) на основе концепции мультиарендности, обеспечивающей в десятки раз сокращение себестоимости оснащения одного рабочего места для проведения лабораторных исследований [13];

— оперативно модифицировать аппаратно-программное обеспечение МРИУС в целях эффективного их применения в соответствии с изменяющимися условиями эксплуатации;

— на системном уровне применять технологии контекстного обучения для ряда ключевых направлений цифровой экономики;

— значительно расширить возможности и качество современных образовательных ресурсов — электронных учебно-методических комплексов (компонента «Электронный лабораторный практикум»/ «Лабораторный практикум удаленного доступа») [21].

Дальнейшее совершенствование рассмотренного сегмента ЦОС планируется в части развития направлений и методов персонализированной адаптации форм представления контента в ЦОС к индивидуальному уровню подготовки и особенностям восприятия контента обучаемым, которые определяются его цифровым следом.

Литература

1. Подлесный С. А. Электронное обучение и обеспечение его качества. *Инженерное образование*, 2013, № 12, с. 104–111.
2. Ivannikov A. D., Tumkovskiy S. R. Internet portals as integration means of access to educational resources. *Proc. of 10th Intern. Technology, Education and Development Conf., INTED2016*, Valencia, IATED Academy, 2016, pp. 7337–7343. doi:10.21125/inted.2016.0731
3. Мазурицкий М. И., Солдатов А. В. Интерактивные сетевые научно-образовательные ресурсы для естественно-научного образования. *Высшее образование в России*, 2014, № 1, с. 80–87.
4. Программа «Цифровая экономика РФ» (утверждена распоряжением Правительства РФ от 28 июня 2017 г. № 1632-р).
5. *Cyber-physical laboratories in engineering and science education*/ Eds. M. E. Auer, A. K. M. Azad, A. Edwards, T. De Jong. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, 2018. 434 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-76935-6>
6. Глинченко А. С., Дектерев М. Л., Комаров В. А., Сарафанов А. В. Сетевой учебно-исследовательский центр коллективного пользования уникальным лабораторным оборудованием на базе веб-портала как элемент системы дистанционного образования. *Открытое образование*, 2009, № 5, с. 18–29.
7. Евдокимов Ю. К., Кирсанов А. Ю., Салахова А. Ш. Дистанционные автоматизированные учебные лаборатории и технологии дистанционного учебного эксперимента в техническом вузе. *Открытое образование*, 2009, № 5, с. 101–116.
8. Липай Б. Р., Маслов С. И. Интернет-лаборатория Основы электротехники и электроники как пример современного учебного комплекса с удаленным доступом для открытого инженерного образования. *Вестник Московского энергетического института*, 2017, № 2, с. 71–76. doi:10.24160/1993-6982-2017-2-71-76
9. Markan C. M., Kumar G., Mittal S., Gupta P., Gupta S., Satsangi A., Gupta A., Kapur G. Remote triggered analog communication laboratory for e-learning. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, 2013, vol. 9, no. 5, pp. 48–55. doi:10.3991/ijoe.v9i5.2773
10. Ёжин М. Н., Степанов М. М. Организация многопользовательского удаленного доступа к распределенной гетерогенной системе лабораторного оборудования на основе схем программируемой логики для дистанционных практикумов по цифровой схемотехнике. *Современные информационные технологии и ИТ-образование*, 2017, т. 13, № 4, с. 65–81. doi:10.25559/SITITO.2017.4.425
11. Koike N. Cyber laboratory: Migration to the hybrid cloud solution for device dependent hardware experiments. *Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, York, 2014, pp. 1–5. doi:10.1109/ITHET.2014.7155681
12. Носкова Т. Н., Павлова Т. Б., Яковлева О. В. ИКТ-инструменты профессиональной деятельности педагога: сравнительный анализ российского и европейского опыта. *Интеграция образования*, 2018, т. 22, № 1, с. 25–45. doi: 10.15507/1991-9468.090.022.201801.025-045
13. Сарафанов А. В., Комаров В. А., Худоногов Д. Ю., Суковатый А. Г. Изучение физических эффектов с использованием дистанционных технологий. *Информатизация образования и науки*, 2012, № 4(16), с. 49–63.
14. Глинченко А. С., Егоров Н. М., Комаров В. А., Сарафанов А. В. *Исследование параметров и характеристик полупроводниковых приборов с применением интернет-технологий*. М., ДМК Пресс, 2008. 352 с.
15. *Сетевая лаборатория «Полупроводниковые приборы»*. <http://semicond.vlab.sfedu.ru/> (дата обращения: 18.12.2018).

16. ГОСТ 2.611–2011. Единая система конструкторской документации. Электронный каталог изделий. Общие положения. М., Стандартинформ, 2014. 28 с.
17. ГОСТ Р 57412–2017. Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения. М., Стандартинформ, 2017. 10 с.
18. Комаров В. А., Сарафанов А. В. Имитационное моделирование процесса функционирования многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем. *Измерительная техника*, 2011, № 2, с. 16–19.
19. Пат. 2481621 РФ. МПК G06F 15/16, G06F 17/00. Способ функционирования распределенной измерительно-управляющей системы, А. С. Глинченко, В. А. Комаров, А. В. Сарафанов (РФ). № 2012111637; завл. 26.03.2012; опублик. 10.05.2013, Бюл. № 13. 15 с.
20. Володина Д. Н., Дектерев М. Л., Комаров В. А., Преснякова Г. О., Сарафанов А. В., Суковатый А. Г., Трухин А. А., Худоногов Д. Ю. *Исследования физических явлений в электрических цепях с применением интернет-технологий*. М.: ДМК Пресс, 2015. 432 с.
21. ГОСТ Р 55751–2013. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Электронные учебно-методические комплексы. Требования и характеристики. М., Стандартинформ, 2014. 11 с.

UDC 62.519

doi:10.31799/1684-8853-2019-2-83-94

Multi-user distributed information-control systems as an element of modern digital educational environmentV. A. Komarov^a, PhD, Tech., Associate Professor, orcid.org/0000-0001-9210-9908A. V. Sarafanov^b, Dr. Sc., Tech., Professor, orcid.org/0000-0003-4264-9388S. R. Tumkovskiy^c, Dr. Sc., Tech., Professor, orcid.org/0000-0002-1647-2171, STumkovskiy@hse.ru^aSC «Academician M. F. Reshetnev «Information Satellite System», 52, Lenin St., 662972, Zheleznogorsk, Russian Federation^bOOO Vitte Consulting (GK «I-Teco»), 15, Kedrov St., 117036, Moscow, Russian Federation^cNational Research University «Higher School of Economics», 20, Myasnitskaya St., 101000, Moscow, Russian Federation

Introduction: One of the key deterrents to the quality training of engineers for digital economy is the lack of access to modern laboratory equipment in Russian regional universities. An effective approach to solving this problem is organizing remote access to experimental equipment based on the concept of multi-tenancy. **Purpose:** Developing a method to organize a high-tech digital educational environment, providing laboratory research in a remote multi-user mode for the training of engineers with contextual learning technology. **Methods:** Creating a unified structure for a digital educational environment segment, based on multi-user distributed measuring-control systems with a unified structure and special methods of adapting such systems to various conditions of their operation. **Results:** A unified structure for a digital educational environment segment has been developed and tested. Its main elements are a web laboratory providing regulated access of trainees to the laboratory studies, and multi-user distributed measuring-control systems implementing these studies by providing the trainees with parallel access to their shared resources: automated laboratory layouts/stands/installations. The created software complex for the collection and processing of statistical information about the functioning of multi-user distributed measuring-control systems as mass service systems underlies the proposed method of their adaptation to various operating conditions. The proposed segment of digital educational environment allows you to implement a number of contextual training directions, including: application in experimental research of modern computer measuring technologies; studying the characteristics of a digital twin of a laboratory layout/installation using standard techniques; identification and verification of mathematical models of objects, devices, processes and phenomena under study, or samples of multi-user systems in the form of appropriate mass service systems; approbation of various shared resource dispatch algorithms. **Practical relevance:** The proposed structure of an educational environment segment provides training of engineers using innovative hardware and software solutions; operation of experimental equipment on the basis of multi-tenancy concept, reducing the cost of equipping a trainee workplace in dozens of times; system-level application of contextual learning technology.

Keywords — automated laboratory practical work with remote access, automated laboratory layout, remote access, web laboratory, multi-tenancy, virtual laboratory stand, multi-user access, distributed measurement and control system, digital educational environment.

For citation: Komarov V. A., Sarafanov A. V., Tumkovskiy S. R. Multi-user distributed information-control systems as an element of modern digital educational environment. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2019, no. 2, pp. 83–94 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2019-2-83-94

References

- Podlesnyi S. A. Quality assurance and quality enhancement in E-Learning. *Inzhenernoe obrazovanie*, 2013, no. 12, pp. 104–111 (In Russian).
- Ivannikov A. D., Tumkovskiy S. R. Internet portals as integration means of access to educational resources. *Proc. of 10th Intern. Technology, Education and Development Conf., INTED2016*, Valencia, IATED Academy, 2016, pp. 7337–7343. doi:10.21125/inted.2016.0731
- Mazuritsky M. I., Soldatov A. V. Interactive network resources for natural science education and research. *Vysshhee obrazovanie v Rossii*, 2014, no. 1, pp. 80–87 (In Russian).
- The program “Digital Economy of the Russian Federation” (approved by the Government of the Russian Federation in its resolution No. 1632-r dated July 28, 2017) (In Russian).
- Cyber-physical laboratories in engineering and science education*. Eds. M. E. Auer, A. K. M. Azad, A. Edwards, T. De

- Jong. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, 2018. 434 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-76935-6>
6. Glinchenko A. S., Dekterev M. L., Zaharin K. N., Komarov V. A., Sarafanov A. V. The network uchebno-research centre of collective using the unique labware on the basis of a web-portal as an element of system of remote formation. *Otkrytoe obrazovanie*, 2009, no. 5, pp. 18–29 (In Russian).
 7. Evdokimov Y. K., Kirsanov A. Y., Salahova A. Sh. The remote automated educational laboratories and technologies of remote educational experiment in the technical university. *Otkrytoe obrazovanie*, 2009, no. 5, pp. 101–116 (In Russian).
 8. Lipay B. R., Maslov S. I. The Internet-based laboratory “Fundamentals of electrical engineering and electronics” as an example of a modern remotely accessible educational package for obtaining open engineering education. *Vestnik Moskovskogo energeticheskogo instituta*, 2017, no. 2, pp. 71–76 (In Russian). doi:10.24160/1993-6982-2017-2-71-76
 9. Markan C. M., Kumar G., Mittal S., Gupta P., Gupta S., Satsangi A., Gupta A., Kapur G. Remote triggered analog communication laboratory for e-learning. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, 2013, vol. 9, no. 5, pp. 48–55. doi: 10.3991/ijoe.v9i5.2773
 10. Yokhin M. N., Stepanov M. M. Multiuser remote access to distributed heterogeneous system of programmable logic based laboratory equipment for remote digital circuits design labs. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie*, 2017, vol. 13, no. 4, pp. 65–81 (In Russian). doi:10.25559/SITITO.2017.4.425
 11. Koike N. Cyber laboratory: Migration to the hybrid cloud solution for device dependent hardware experiments. *Information Technology Based Higher Education and Training (IThET)*, York, 2014, pp. 1–5. doi:10.1109/IThET.2014.7155681
 12. Noskova T. N., Pavlova T. B., Yakovleva O. V. ICT tools of professional teacher activity: a comparative analysis of Russian and European experience. *Integratsiya obrazovaniya*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 25–45 (In Russian). doi: 10.15507/1991-9468.090.022.201801.025-045
 13. Sarafanov A. V., Komarov V. A., Sukovatiy A. G., Khudonogov D. U. Investigation of physical effects using remote technologies. *Informatizatsiya obrazovaniya i nauki*, 2012, no. 4(16), pp. 49–63 (In Russian).
 14. Glinchenko A. S., Egorov N. M., Komarov V. A., Sarafanov A. V. *Issledovanie parametrov i kharakteristik poluprovodnikovyykh priborov s primeneniem internet-tekhnologiy* [Research of parameters and characteristics of semiconductor devices using Internet technologies]. Moscow, DMK Press Publ., 2008. 352 p. (In Russian).
 15. *Setevaya laboratoriya “Poluprovodnikovyye pribory”* [Network laboratory “Semiconductor devices”]. Available at: <http://semicond.vlab.sfedu.ru/> (accessed 18 December 2018).
 16. State Standard 2.611–2011. Unified system for design documentation. Electronic catalog of products. General provisions. Moscow, Standartinform Publ., 2012. 28 p. (In Russian).
 17. State Standard R 57412–2017. Computer models in processes, development of production and operation of products. General provisions. Moscow, Standartinform Publ., 2017. 10 p. (In Russian).
 18. Komarov V. A., Sarafanov A. V. Simulation of the operation of multiuser distributed measurement and control systems. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques], 2011, vol. 54, no. 2, pp. 129–134 (In Russian). doi:10.1007/s11018-011-9695-y
 19. Glinchenko A. S., Komarov V. A., Sarafanov A. V. *Sposob funktsionirovaniya raspredelennoy izmeritel'no-upravlyayushchey sistemy* [The method of functioning of a distributed measuring and control system]. Patent RF, no. 2481621, 2013.
 20. Volodina D. N., Dekterev M. L., Komarov V. A., Presnyakova G. O., Sarafanov A. V., Sukovatiy A. G., Trukhin A. A., Khudonogov D. U. *Issledovaniya fizicheskikh yavleniy v elektricheskikh tsepyakh s primeneniem Internet-tekhnologiy* [Research of physical effects in electrical circuits using Internet technologies]. Moscow, DMK Press Publ., 2015. 432 p. (In Russian).
 21. State Standard R 55751–2013. Information and communication technologies in education. Electronic teaching materials. Requirements and specifications. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 11 p. (In Russian).