

УДК 378

DOI 10.54835/18102883_2021_30_6

ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПО ЭЛЕКТРО-РАДИОИЗМЕРЕНИЯМ

Красивская Мария Игоревна¹,

старший преподаватель, Департамент электронной инженерии,
mkrasivskaya@hse.ru

Юрин Александр Игоревич¹,

кандидат технических наук, доцент, Департамент электронной инженерии,
ayurin@hse.ru

Гаспарян Антон Оганесович¹,

студент.

Дубильер Яна Александровна¹,

студент.

Заволовая Надежда Борисовна¹,

студент.

Сергеенко Ксения Андреевна¹,

студент.

Денисенко Сергей Александрович²,

директор,
office@vniims.ru

¹ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, 20

² Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы,
Россия, 119361, г. Москва, ул. Озерная, 46

Описан подход к организации лабораторных практикумов по электро-радиоизмерениям, заключающийся в использовании «Виртуальной лаборатории». Подобный подход позволил реализовать часть учебного процесса в дистанционном или фронтальном режиме, снизить затраты на реализацию лабораторных практикумов, уменьшить риски вывода из строя дорогостоящего оборудования по причине неквалифицированного использования, реализовать новые формы работы, сложно реализуемые в рамках традиционной лаборатории (такие, например, как введение и поиск неисправностей). Для решения поставленных задач использовался метод моделирования лабораторной среды, основанный на программном обеспечении LabVIEW. С помощью встроенных и специально разработанных инструментов программирования, математических библиотек реализованы визуальные образы и функционал различных элементов оснащения виртуального лабораторного стола: контрольно-измерительных приборов, вспомогательного оборудования, соединительных кабелей, взаимодействие между ними. Разработанные виртуальные модели визуально практически идентичны соответствующим реальным прототипам по набору, расположению органов управления (кнопок, переключателей, индикаторов, панелей), что позволяет расширить и дополнить набор компетенций, приобретаемых учащимися при использовании традиционной лаборатории: ключевых навыков работы с современным контрольно-измерительным оборудованием, включая формирование тестовых последовательностей, выполнение измерений, обработку и представление их результатов, с акцентом на автоматизацию всех этапов работы с измерительной информацией за счёт разработки и применения профессионального программного обеспечения.

Ключевые слова: Виртуальные приборы, LabVIEW, лабораторный практикум, модели измерительных приборов, виртуальные лабораторные стенды

Введение

Для инженерных направлений подготовки лабораторные работы являются неотъемлемой частью учебного процесса, направленной на формирование и развитие необходимых профессиональных компетенций. При

этом закупка, содержание и обслуживание большого парка специализированного оборудования могут быть затруднительными или экономически неоправданными. Кроме того, в современных условиях часто возникает необходимость организации практикумов для

студентов различных форм обучения (очная, заочная, с использованием дистанционных технологий, гибридный формат), что особенно актуально в условиях пандемии Covid-19 [1].

В настоящее время большинство образовательных учреждений оснащены компьютерной техникой, поэтому одним из актуальных направлений решения данной задачи является реализация лабораторных практикумов с использованием специализированных виртуальных лабораторных стендов [2].

Виртуальный лабораторный стенд представляет собой программное обеспечение, позволяющее имитировать реальные процессы и максимально близко отражать принципы, режимы и порядок работы соответствующего оборудования. Реализация такого программного обеспечения позволяет осуществлять проведение лабораторных работ без необходимости использования реального оборудования [3, 4].

Представляется целесообразным создание и внедрение в материально-техническую базу университетов, осуществляющих подготовку по инженерным специальностям, «Виртуальной лаборатории» – интегрированного образовательного решения (виртуальной лабораторной среды) для проведения лабораторных, практических занятий студентов, повышения квалификации специалистов, проведения контрольных мероприятий.

Использование такой среды позволит студенту, преподавателю, слушателю курсов дополнительного образования без ограничения времени выполнять назначенные задания (как полностью в виртуальной форме, так и в форме тренировки перед работой с реальным оборудованием), самостоятельно экспериментировать с лабораторным оборудованием и различными электронными компонентами (что будет, несомненно, повышать заинтересованность учащегося).

Таким образом, достигается повышение эффективности образовательного процесса за счёт расширения его возможностей и обеспечения доступности большему числу обучающихся [5].

Оборудование лабораторных стендов

В настоящее время для организации и проведения лабораторных работ по электро-радиоизмерениям используются различные подходы [6–8]. Выпускаются и применяются

как аппаратно-, так и программно-реализованные решения. В частности, на рынке представлены готовые специализированные учебные лабораторные стенды.

Примером такого решения для учебных заведений является стенд «Электрические измерения и основы метрологии» компании «Флагман Про» [9]. Стенд представляет собой набор модулей с множеством возможных комбинаций сборки, что значительно расширяет его возможности. Используя данный стенд, преподаватели могут провести около 10 различных лабораторных работ, помогающих студентам ознакомиться с применением электроизмерительных приборов и закрепить теоретические знания на практике. Стенд включает в себя: модуль питания, функциональный генератор, автотрансформатор, измерительный блок, ваттметр, электромеханические измерительные приборы, трансформатор тока и напряжения, схему потенциометра постоянного тока, элементы ЦАП и АЦП, магазин сопротивлений.

На рынке также представлен похожий лабораторный стенд «Электрические измерения и основы метрологии» (ЭИОМ2-СР-1) от компании ДЕНАР [10], в состав которого входят модули: функциональный генератор, модуль питания, блок испытания цифровых устройств, элементы измерительных цепей, мультиметр, измеритель мощности. Лабораторный стенд также имеет модульный принцип построения и может быть собран в различных конфигурациях для проведения соответствующих работ.

Интересным примером несколько иного подхода является предлагаемое компанией *National Instruments* (США) использование платформы ELVIS для обучения студентов основам измерений [11]. Особенностью данного решения является то, что теоретической основой курса являются вопросы технологии сбора данных. Идёт ориентация не на работу студентов с готовыми приборами, а на реализацию проектного подхода. В рамках практикума студенты сами строят программные компоненты для решения измерительных задач на основе платформы ELVIS и встроенного в него многофункционального оборудования сбора данных.

Упомянутые решения отличает модульность и относительная гибкость в части реализации различных работ. К некоторым ограничениям данных продуктов можно отнести достаточно высокую стоимость и потенциаль-

ные затруднения при необходимости организации проведения работ в онлайн-формате. Для решения этой задачи разрабатываются виртуальные лабораторные стенды и приборы [12–15].

Виртуальные образовательные решения

Одним из популярных отечественных учебно-методических комплексов является виртуальный практикум «LabVIEW. Практикум по основам измерительных технологий» [16]. Практикум включает в себя комплект программно-реализованных виртуальных лабораторных стендов и учебное пособие, включающее методические указания к ним. Программное обеспечение практикума создано в среде разработки LabVIEW (англ. *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) от компании *National Instruments*.

Данный комплекс хорошо зарекомендовал себя в учебном процессе и помог многим преподавателям в проведении занятий, однако его функционал и гибкость несколько ограничены и не предоставляют возможности студентам полностью ознакомиться с функциями, внешним видом и поведением современных электроизмерительных приборов. Кроме того, код программного обеспечения является закрытым, стенды поставляются в виде законченных исполняемых приложений и использовать виртуальные приборы можно только в рамках предложенных лабораторных работ.

Другой интересный пример отечественной разработки представлен в статье [17]. Автор описывает разработку стенда для проверки низкочастотного генератора сигналов произвольной формы, который включает в себя: измерительный низкочастотный генератор сигналов специальной формы, цифровой электронно-счетный частотомер, вольтметр, экран электронно-лучевого осциллографа, измеритель нелинейных искажений, два коммутационных блока.

На зарубежном рынке также представлены несколько примеров виртуальных стендов. В частности, в статье [18] описываются такие виртуальные приборы, как цифровой осциллограф и функциональный генератор сигналов, а также процесс разработки приборов и их интерфейса в среде графического программирования LabVIEW, которая активно используется для построения виртуальных лабораторных стендов [19].

Разработка «Виртуальной лаборатории»

По результатам анализа составлен список наиболее часто встречающихся модулей (приборов) лабораторных стендов, а также лабораторных работ, которые можно реализовать на основе выявленных модулей.

Для решения задачи разработки программного обеспечения «Виртуальной лаборатории» могут быть использованы различные инструменты. В частности, возможно использование:

- универсальных текстовых языков программирования;
- специализированных средств графического программирования.

Основным средством реализации была выбрана среда LabVIEW. За счёт наличия развитого инструментария визуального программирования, математических библиотек упрощается реализация визуальных образов и алгоритмов действия различных элементов виртуального лабораторного рабочего стола: контрольно-измерительных приборов, электронных компонентов, макетных плат, соединительных кабелей, коаксиальных разъемов BNC (англ. *Bayonet Neill-Concelman*), взаимодействие между ними в рамках выполнения работы.

При выработке проектной идеи прорабатывались несколько основных вариантов реализации «Виртуальной лаборатории»:

- создание набора законченных стендов, каждый из которых реализован в виде большого окна приложения с законченной конфигурацией стенда;
- использование окна стенда с возможностью «наполнения» приборами; формирование стенда на рабочем столе из приборов, вызываемых в отдельных «плавающих» окнах.

Основными критериями выбора были гибкость с точки зрения создания различных стендов и их модификации, а также удобство и нетребовательность к ресурсам для возможности использования на различном компьютерном оборудовании. Исходя из указанных критериев, в качестве основного был выбран третий подход.

По результатам анализа существующих решений был составлен список основных модулей для реализации виртуальных лабораторных стендов по электро-радиоизмерениям, подлежащих первоочередному моделированию:

- магазин сопротивлений;
- функциональный генератор;
- источники питания;
- мультиметры;
- вольтметры;
- частотомер;
- осциллограф.

Виртуальные модели приборов строились по модульному принципу, на основе разработанной **библиотеки инструментов MIST** (англ. *Measuring Instruments Simulation Toolkit*). Библиотека MIST организована в виде дополнительных пользовательских подпалитр элементов для *Controls Palette* и *Functions Palette* NI LabVIEW. Библиотека MIST состоит из наборов подпрограмм, графических элементов, а также шаблонов, предназначенных для построения моделей электроизмерительных приборов [20].

Для формирования передних панелей моделей приборов библиотека MIST включает наборы специально созданных и настроенных элементов:

- контактов (гнезд, штекеров, клемм, разъёмов BNC и др.);
 - регуляторов значений и переключателей;
 - кнопок и кнопочных групп;
 - отображающих устройств (цифровых дисплеев и их элементов, аналоговых шкал).
- Необходимость создания этой части библиотеки была обусловлена отсутствием нужных для моделирования элементов в палитрах LabVIEW либо их недостаточно проработанной визуализацией. При создании использовались встроенный редактор ctl-элементов LabVIEW и графические редакторы. В процессе подготовки частей пользовательских элементов передней панели, исходя из критериев качества изображения и поддержки прозрачности фона, использовался графический формат PNG (англ. *Portable Network Graphics*).
- Для построения программной части моделей предусмотрены:
- структуры для хранения и передачи данных о режимах работы и отображения, диапазонах, характеристиках прибора;
 - подпрограммы подготовки результатов для отображения, выбора пределов измерений (в т. ч. автоматического), обработки типо-

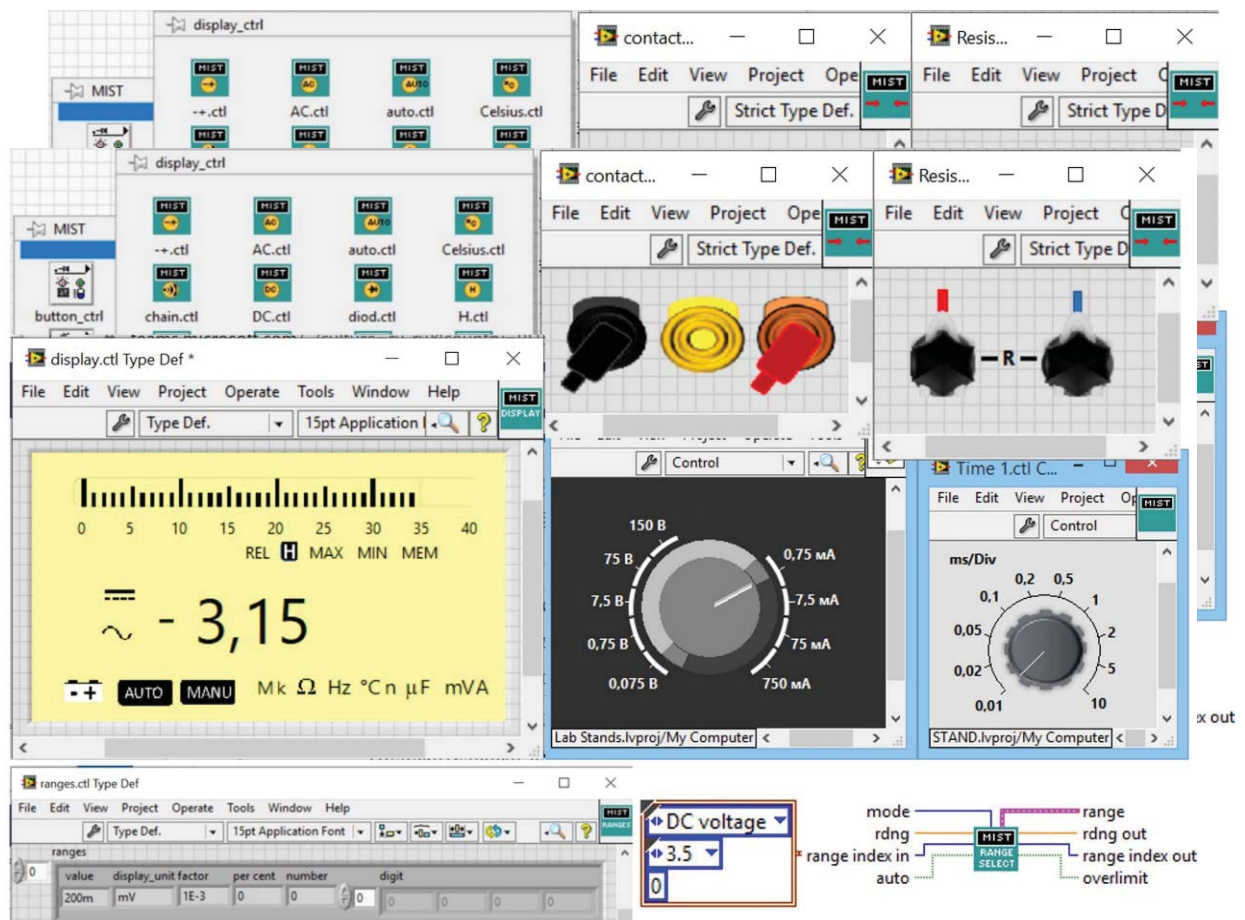


Рис. 1. Примеры элементов «Библиотеки MIST»

Fig. 1. Examples of «MIST Libraries» elements

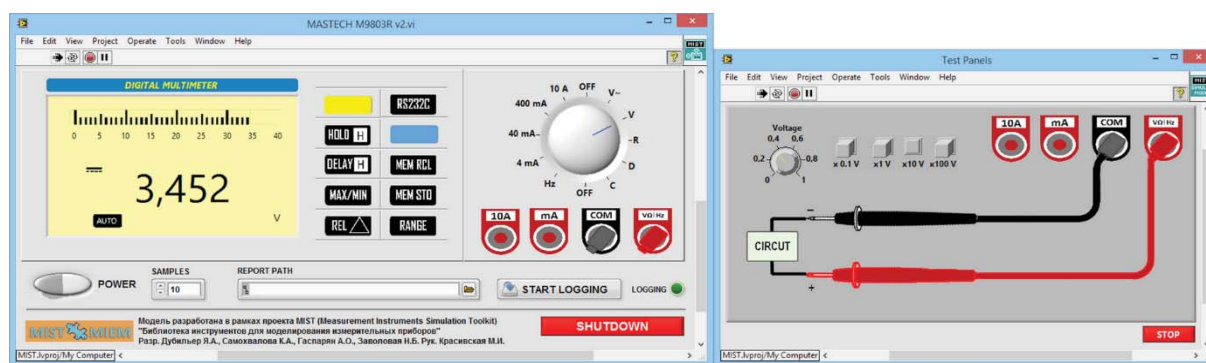


Рис. 2. Учебная модель мультиметра

Fig. 2. Teaching model of the multimeter

вых операций управления, расчёта параметров сигналов и цепей, эмуляции погрешностей;

- шаблоны приложений для построения моделей приборов и стендов.

При создании этой части библиотеки активно использовались определения типа (*Type Def.*), содержащие кластеры для структурирования и организации данных.

Элементы библиотеки пригодны для повторного использования при построении моделей различных виртуальных приборов или стендов, а также, при необходимости, могут быть легко модифицированы. Процесс применения и модификации элементов описан в подробной инструкции.

Примеры некоторых элементов библиотеки MIST представлены на рис. 1.

С использованием «Библиотеки MIST» разработан набор учебных моделей приборов, всего более десяти, в том числе мультиметры, вольтметры, функциональный генератор, осциллограф и др. Пример простой **модели прибора** – типового настольного цифрового мультиметра – представлен на рис. 2.

Модель предназначена для выполнения лабораторной работы по метрологии. В учебных целях модель прибора дополнена набором тестовых панелей для эмуляции применения прибора в различных режимах, а также возможностью автоматического протоколирования результатов измерений для последующей обработки.

В зависимости от выделенного времени лабораторная работа может включать не только взаимодействие с готовой моделью, но и предварительное её построение в LabVIEW. С использованием готовых элементов библиотеки, по соответствующим методическим указаниям, создание модели занимает около двух академических часов. Такой подход созвучен

идеям конструкционизма в образовательных технологиях, сформулированным Сеймуром Папертом [21]. Помимо этого, студенты одновременно работают над формированием инструментальных компетенций – навыков программирования в среде LabVIEW, признаваемой отраслевым стандартом де-факто [22].

Из парка моделей оборудования «Виртуальной лаборатории» создано несколько **виртуальных стендов**. Примером является разработанный в ходе данной работы виртуальный стенд для проведения лабораторной работы по измерению мощности постоянного тока (рис. 3). Стенд включает окно с меню для выбора моделей приборов. Для вызова того или иного прибора пользователю необходимо нажать на соответствующую кнопку в меню. Все подпрограммы приборов работают синхронно, взаимодействие, передача данных между моделями осуществляется через глобальные переменные.

Данный стенд содержит четыре виртуальных прибора: источник питания, магазин сопротивлений, мультиметр, выполняющий роль амперметра, и мультиметр, выполняющий роль вольтметра.

Программа виртуального стенда запускается через исполняемый *.exe файл, для запуска которого на компьютере необходимо иметь установленное бесплатное программное обеспечение NI LabVIEW *Run-Time Engine*. Каждый виртуальный прибор запускается из меню в своем окне, тем самым предоставляя возможность расположить программы на экране удобным пользователю образом и снижая требования к минимальному размеру экрана.

Подпрограммы симулируют подключение приборов проводами, возле каждого разъема для контактов прибора при нажатии отображается цифра, которая означает номер провода, которым выполняется «соединение»



Рис. 3. Виртуальный лабораторный стенд для измерения мощности постоянного тока
Fig. 3. Virtual laboratory stand for measuring DC power

приборов. Перебор цифр для выбора провода осуществляется многократным нажатием на контакт. Для контроля правильности подключения приборов используется специальная подпрограмма.

В рамках «Виртуальной лаборатории» также создано несколько стендов с использованием традиционного формата «одного окна». В качестве примера на рис. 4 представлен стенд по изучению влияния систематической (энергетической) погрешности. Данный стенд может использоваться для выполнения двух начальных лабораторных работ классического практикума по метрологии и электро-радиоизмерениям. Модели вольтамперметра,

цифрового универсального вольтметра и тестового источника напряжений, созданные для этого стенда, реализованы в виде отдельных приложений, при этом основной функционал вынесен в подпрограммы. Таким образом, здесь опробован подход, позволяющий использовать модели приборов для построения стендов как в виде набора «плавающих окон», так и в традиционном формате «одного окна», который может быть более удобен и понятен студентам при выполнении работ в самом начале практикума.

В «Виртуальную лабораторию» также входят виртуальные лабораторные стенды по измерению постоянного напряжения и па-



Fig. 4. Лабораторный стенд по изучению систематической погрешности
Fig. 4. Laboratory stand for the study of systematic error

раметров переменного напряжения, осциллографическим измерениям. Продолжается работа по расширению парка модельных приборов и созданию новых стендов.

Заключение

Результаты работы позволяют проводить практические занятия по дисциплинам, связанными с измерительными технологиями в фронтальном либо дистанционном формате без необходимости покупки и использования реального оборудования лабораторий, а также помогают развивать программно-методическое обеспечение учебного процесса.

Кроме того, создание и внедрение новых образовательных технологий, в том числе цифровых, является одним из важнейших компонентов программы развития ведущих университетов. Цифровизация образования выделяется как важный фактор, позволяющий повысить эффективность учебного процесса. Дальнейшее развитие и внедрение «Виртуальной лаборатории» позволит достичь следующих результатов:

- реализация полноценного учебного процесса по инженерным образовательным

программам в дистанционном формате, расширение номенклатуры программ дополнительного образования, получение конкурентоспособного образовательного продукта;

- эффективное использование ресурсов лабораторий, активное внедрение цифровых образовательных технологий, развитие учебно-методического обеспечения;
- повышение интерактивности лабораторно-практических занятий для лучшей вовлеченности обучающихся, получение гибкого программного инструмента для упрощения организации и проведения занятий в дистанционном формате;
- полноценное формирование образовательных компетенций, соответствие опыта работы с виртуальными моделями использованию реального оборудования.

«Виртуальная лаборатория» создана в рамках работы проектной группы Департамента электронной инженерии Московского института электроники и математики им. А.Н. Тихонова Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Software implementation of a virtual laboratory bench for distance learning / D.S. Gubsky, A. Smolyaninov, I. Pochneva, I. Fateeva, K. Singur // E3S Web of Conferences, 2021. DOI: 10.1051/e3s-conf/202124411009. URL: https://www.researchgate.net/publication/350180224_Software_implementation_of_a_virtual_laboratory_bench_for_distance_learning (дата обращения 11.03.2021).
2. Применение виртуальных лабораторных стендов в образовательном процессе / А.И. Юрин, М.И. Красивская, А.В. Дмитриев, Г.Ю. Злодеев. // Информационные технологии. – 2014. – № 6. – С. 70–72.
3. Zemlyakov V.V. Computer modelling of virtual measuring stands // 2018 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE). DOI: 10.1109/APEDE.2018.8542259. URL: https://www.researchgate.net/publication/329491200_Computer_Modelling_of_Virtual_Measuring_Stands (дата обращения 11.03.2021).
4. Morozova E.V., Kulikov K.A., Lazebnikov S.S. The laboratory stand simulation for programming microprocessor devices // 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). – 2019. – P. 125–128. DOI: 10.1109/EIConRus.2019.8657118. URL: https://www.researchgate.net/publication/331846400_The_Laboratory_Stand_Simulation_for_Programming_Microprocessor_Devices (дата обращения 11.03.2021).
5. Юрин А.И., Красивская М.И., Дмитриев А.В. Проблемы подготовки специалистов в области метрологии наноиндустрии // Качество. Инновации. Образование. – 2015. – № 3. – С. 19–22.
6. Arkhipov A., Prokudina N., Patutin K. Development of a visualization system for a virtual laboratory for training personnel of industrial enterprises // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – V. 2096. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2096/1/012035/meta> (дата обращения 11.03.2021).
7. Prichetnikov A.V., Tishchenko I.A., Fedorov I.S. Investigation on the Application of Virtual Education for Engineering Students in the Energy Industry // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271451. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9271451> (дата обращения 11.03.2021).
8. Troyanovskiy V.M., Sliusar V.V., Soe K.N. Selecting process modeling tools for virtual laboratory // 2019 International Russian Automation Conference. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867766. URL: https://www.researchgate.net/publication/336557925_Selecting_Process_Modeling_Tools_for_Virtual_Laboratory (дата обращения 11.03.2021).

9. Комплект учебного оборудования «Электрические измерения и основы метрологии» // УчтехПрофи. URL: https://labstand.ru/catalog/elektricheskie_izmereniya_i_osnovy_metrologii/tipovoy_komplekt_uchebnogo_oborudovaniya_elektricheskie_izmereniya_i_osnovy_metrologii_nastolnyy_var_1365 (дата обращения 11.03.2021).
10. Электрические измерения и основы метрологии (ЭИОМ2-СР-1) // ДЕНАР. URL: <http://www.denar-prof.ru/products/2306> (дата обращения 11.03.2021).
11. Student projects for measurements and instrumentation // National Instruments. URL: <https://education.ni.com/teach/resources/1014/student-projects-for-measurements-and-instrumentation> (дата обращения 11.03.2021).
12. Patrascoiu N., Rus C., Negru I.N. Virtual tools used to study the electrical equipment operating modes // 22nd International Carpathian Control Conference (ICCC). – 2021. DOI: 10.1109/ICCC51557.2021.9454642. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9454642> (дата обращения 11.03.2021).
13. Choni Y., Dardymov A. Advantages and «pitfalls» of applying virtual laboratory works in technology education // AIP Conference Proceedings. – 2019. DOI: 10.1063/1.5140105. URL: https://www.researchgate.net/publication/338009386_Advantages_and_pitfalls_of_applying_virtual_laboratory_works_in_technology_education (дата обращения 11.03.2021).
14. Sutchenkov A.A., Tikhonov A.I. Electrical engineering materials virtual laboratory // 2018 IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education. DOI: 10.1109/INFORINO.2018.8581843. URL: https://www.researchgate.net/publication/330273023_Electrical_Engineering_Materials_Virtual_Laboratory (дата обращения 11.03.2021).
15. Electrotechnical Laboratory: From Physical Experiment to Virtual Scenario / L.V. Alexeychik, M.P. Zhokhova, D.V. Mikheev, M.V. Karpunina // 2018 IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education. DOI: 10.1109/INFORINO.2018.8581853. URL: https://www.researchgate.net/publication/330270270_Electrotechnical_Laboratory_From_Physical_Experiment_to_Virtual_Scenario (дата обращения 11.03.2021).
16. LABVIEW. Практикум по основам измерительных технологий / В.К. Батоврин, А.С. Бессонов, В.В. Мошкин, В.Ф. Папуловский. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 232 с.
17. Манонина И.В. Применение программы LabVIEW для изучения вопросов поверки измерительных приборов // Т-Сотт-Телекоммуникации и Транспорт. – 2012. – № 8. – С. 50–52.
18. Yongyu Peng, Kehong Zhang. Based on LabVIEW remote virtual electronic laboratory design and implementation // The Open Cybernetics & Systemics Journal. – 2014. – № 8 (1). – P. 754–761.
19. What is LabVIEW? // National Instruments. URL: <https://www.ni.com/ru-ru/shop/labview.html> (дата обращения 11.03.2021).
20. Библиотека инструментов для моделирования измерительных приборов / К.А. Сергеенко, Я.А. Дубильер, А.О. Гаспарян, Н.Б. Заволовая // Ежегодная межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В. Арменского. – М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2021. – С. 164–165.
21. Papert S., Harel I. Situating constructionism. 1991. URL: <http://www.papert.org/articles/SituatingConstructionism.html> (дата обращения 11.03.2021).
22. Arpaia P., De Matteis E., Inglese V. Software for measurement automation: a review of the state of the art // Measurement. – 2015. – V. 66. – P. 10–25.

Дата поступления: 09.08.2021 г.

UDC 378

DOI 10.54835/18102883_2021_30_6

VIRTUAL LABORATORY FOR ELECTROARADIO MEASUREMENTS

Maria I. Krasivskaya¹,
senior lecturer,
mkrasivskaya@hse.ru

Alexander I. Yurin¹,
Cand. Sc., associate professor,
ayurin@hse.ru

Anton O. Gasparyan¹,
student.

Yana A. Dubilyer¹,
student.

Nadezhda B. Zavyalova¹,
student.

Ksenia A. Sergeenko¹,
student.

Sergey A. Denisenko²,
director,
office@vniims.ru

¹ HSE University,
20, Myasnitskaya street, Moscow, 101000, Russia

² All-Russian scientific research institute of metrological service,
46, Ozernaya street, Moscow, 119361, Russia

The paper describes an approach to the organization of laboratory workshops on electro-radio measurements, which consists in the use of a «Virtual Laboratory». This approach made it possible to implement part of the educational process in remote or frontal mode, to reduce the cost of implementing laboratory workshops, to reduce the risks of failure of expensive equipment due to unskilled use, to implement new forms of work that are difficult to be implemented in a traditional laboratory (such as introduction and troubleshooting). To solve the tasks, the method of modeling the laboratory environment based on the LabVIEW software was used. With the help of built-in visual programming tools, mathematical libraries, visual images and functionality of various elements of the virtual laboratory table equipment are implemented: control and measuring devices, auxiliary equipment, connecting cables, and interaction between them. The developed virtual models are visually identical to the corresponding real prototypes in terms of the set and arrangement of controls (buttons, switches, indicators, panels), which allows you to expand and supplement the set of competencies acquired by students using a traditional laboratory: key skills in working with modern control and measurement equipment, including the formation of test sequences, performing measurements, processing and presenting their results, with an emphasis on automating all stages of working with measurement information through the development and application of professional software.

Key words: Virtual instruments, LabVIEW, laboratory workshop, models of measuring instruments, virtual laboratory stands.

«Virtual laboratory» was developed within the work of the project group of the Department of electronic engineering at the Moscow Institute of electronics and mathematics named after A.N. Tikhonov, National Research University создана в рамках работы проектной группы департамента электронной инженерии Московского института электроники и математики им. А.Н. Тихонова Национального исследовательского университета «Higher School of Economics».

REFERENCES

1. Gubsky D.S., Smolyaninov A., Pochbneva I., Fateeva I., Singur K. Software implementation of a virtual laboratory bench for distance learning. *E3S Web of Conferences*, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202124411009. Available at: https://www.researchgate.net/publication/350180224_Software_implementation_of_a_virtual_laboratory_bench_for_distance_learning (accessed 11 March 2021).
2. Yurin A.I., Krasivskaya M.I., Dmitriyev A.V., Zlodeyev G.Yu. Primenenie virtualnykh laboratornykh stendov v obrazovatelnom protsesse [The use of virtual laboratory stands in the educational process]. *Informatsionnye tekhnologii*, 2014, no. 6, pp. 70–72.
3. Zemlyakov V.V. Computer modelling of virtual measuring stands. *2018 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE)*. DOI: 10.1109/APEDE.2018.8542259. Available at: https://www.researchgate.net/publication/329491200_Computer_Modelling_of_Virtual_Measuring_Stands (accessed 11 March 2021).
4. Morozova E.V., Kulikov K.A., Lazebnikov S.S. The laboratory stand simulation for programming microprocessor devices. *2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*. pp. 125–128. DOI: 10.1109/EIConRus.2019.8657118. Available at: <https://>

- www.researchgate.net/publication/331846400_The_Laboratory_Stand_Simulation_for_Programming_Microprocessor_Devices (accessed 11 March 2021).
5. Yurin A.I., Krasivskaya M.I., Dmitriev A.V. Problemy podgotovki spetsialistov v oblasti metrologii nanoindustrii [Problems of training specialists in the field of nanoindustry metrology]. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovaniye*, 2015, no. 3, pp. 19–22.
 6. Arkhipov A., Prokudina N., Patutin K. Development of a visualization system for a virtual laboratory for training personnel of industrial enterprises. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 2096. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2096/1/012035/meta> (accessed 11 March 2021).
 7. Prichetnikov A.V., Tishchenko I.A., Fedorov I.S. Investigation on the application of virtual education for engineering students in the energy industry. *2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271451. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9271451> (accessed 11 March 2021).
 8. Troyanovskiy V.M., Sliusar V.V., Soe K.N. Selecting process modeling tools for virtual laboratory. *2019 International Russian Automation Conference*. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867766. Available at: https://www.researchgate.net/publication/336557925_Selecting_Process_Modeling_Tools_for_Virtual_Laboratory (accessed 11 March 2021).
 9. Komplekt uchebnogo oborudovaniya «Elektricheskie izmereniya i osnovy metrologii» [Set of educational equipment «Electrical measurements and the basics of metrology»]. *UchtekhProfi*. Available at: https://labstand.ru/catalog/elektricheskie_izmereniya_i_osnovy metrologii/tipovoy_komplekt_uchebnogo_oborudovaniya_elektricheskie_izmereniya_i_osnovy metrologii_nastolnyy_var_1365 (accessed 11 March 2021).
 10. Elektricheskie izmereniya i osnovy metrologii (EIOM2-SR-1) [Electrical measurements and basics of metrology (EIOM2-SR-1)]. *DENAR*. Available at: <http://www.denar-prof.ru/products/2306> (accessed 11 March 2021).
 11. Student projects for measurements and instrumentation. *National Instruments*. Available at: <https://education.ni.com/teach/resources/1014/student-projects-for-measurements-and-instrumentation> (accessed 11 March 2021).
 12. Patrascoiu N., Rus C., Negru I.N. Virtual tools used to study the electrical equipment operating modes. *22nd International Carpathian Conference (ICCC)*. 2021. DOI: 10.1109/ICCC51557.2021.9454642. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9454642> (accessed 11 March 2021).
 13. Choni Y., Dardymov A. Advantages and «pitfalls» of applying virtual laboratory works in technology education. *AIP Conference Proceedings*. 2019. DOI: 10.1063/1.5140105. Available at: https://www.researchgate.net/publication/338009386_Advantages_and_pitfalls_of_applying_virtual_laboratory_works_in_technology_education (accessed 11 March 2021).
 14. Sutchenkov A.A., Tikhonov A.I. Electrical engineering materials virtual laboratory. *2018 IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education*. DOI: 10.1109/INFORINO.2018.8581843. Available at: https://www.researchgate.net/publication/330273023_Electrical_Engineering_Materials_Virtual_Laboratory (accessed 11 March 2021).
 15. Alexeychik L.V., Zhokhova M.P., Mikheev D.V., Karpunina M.V. Electrotechnical laboratory: from physical experiment to virtual scenario. *2018 IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education*. DOI: 10.1109/INFORINO.2018.8581853. Available at: https://www.researchgate.net/publication/330270270_Electrotechnical_Laboratory_From_Physical_Experiment_to_Virtual_Scenario (accessed 11 March 2021).
 16. Batovrin V.K., Bessonov A.S., Moshkin V.V., Papulovskiy V.F. *LABVIEW. Praktikum po osnovam izmeritelnykh tekhnologiy* [LABVIEW. Workshop on the basics of measurement technology]. Moscow, DMK Press, 2009. 232 c.
 17. Manonina I.V. Primenenie programmy LabVIEW dlya izucheniya voprosov poverki izmeritelnykh priborov [Application of the LabVIEW program to study the issues of verification of measuring instruments]. *T-Comm-Telekommunikatsii i Transport*, 2012, no. 8, pp. 50–52.
 18. Yongyu Peng, Kehong Zhang. Based on LabVIEW remote virtual electronic laboratory design and implementation. *The Open Cybernetics & Systemics Journal*, 2014, no. 8 (1), pp. 754–761.
 19. What is LabVIEW? *National Instruments*. Available at: <https://www.ni.com/ru-ru/shop/labview.html> (accessed 11 March 2021).
 20. Sergeyenko K.A., Dubilyer Ya.A., Gasparyan A.O., Zavolovaya N.B. Biblioteka instrumentov dlya modelirovaniya izmeritelnykh priborov [Library of tools for modeling measuring devices]. *Ezhгодnaya mezhdvuzovskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh spetsialistov imeni E.V. Armenskogo* [Annual interuniversity scientific and technical conference of students, graduate students and young specialists named after E.V. Armenian]. Moscow, MIEM NIU HSE, 2021. pp. 164–165.
 21. Papert S., Harel I. *Situating constructionism*. 1991. Available at: <http://www.papert.org/articles/SituatingConstructionism.html> (accessed 11 March 2021).
 22. Arpaia P., De Matteis E., Inglese V. Software for measurement automation: a review of the state of the art. *Measurement*, 2015, vol. 66, pp. 10–25.

Received: 9 August 2021.