

УДК 372.862+378

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ИЗУЧЕНИЮ ЦИФРОВОЙ И МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

Кудрявцев Илья Александрович,

кандидат технических наук, доцент, декан факультета электроники и приборостроения,
rtf@ssau.ru

Мякинин Олег Олегович,

старший преподаватель кафедры лазерных и биотехнических систем,
myakole@gmail.com

Матвеева Ирина Александровна,

аспирант кафедры лазерных и биотехнических систем,
m-irene-a@yandex.ru

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева,
Россия, 443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34.

Статья посвящена использованию технологий дистанционного обучения при реализации курса «Цифровые устройства и микроконтроллеры». Это один из ключевых курсов для инженеров-электронщиков и IT-специалистов. Лабораторный практикум играет важную роль в курсе и служит для получения опыта разработки и отладки программного обеспечения для микроконтроллеров. Теоретические знания и практический опыт являются важными компонентами компетенций, получаемых студентами в рамках данного курса. Таким образом, курс должен включать элементы самостоятельного обучения и практических занятий под руководством преподавателя, что крайне важно для получения студентами глубоких знаний и опыта практической инженерной деятельности. Ограничения, вызванные пандемией, делают этот опыт актуальным. Целью данной работы является демонстрация различных подходов к обучению, применяемых в случаях, когда студенты не могут посещать учебные занятия и проводить исследования в привычных условиях. Хорошим решением может быть комбинация «электронного» изучения теоретической части и дистанционной работы с отладочными платами во время лабораторного практикума. Этот подход может сочетать в себе опыт самостоятельного обучения в области разработки программного обеспечения и компьютерного моделирования, а также применение аппаратных методов под руководством преподавателя. В данной работе рассмотрены сведения, полученные в качестве обратной связи от студентов Самарского университета, обучавшихся в дистанционном режиме в весеннем семестре 2020 года. Результаты показывают, что большинство респондентов поддерживают дистанционное обучение в различных формах, включая предлагаемые подходы. Также в статье обсуждаются некоторые конкретные детали реализации предлагаемых подходов.

Ключевые слова: электронное обучение, цифровые устройства, микроконтроллеры, лабораторный практикум, дистанционное обучение.

Введение

Владение основами цифровой и микропроцессорной техники является неотъемлемым элементом компетенций специалистов в области радиоэлектроники и информационных технологий. Такие знания и умения полезны также широкому кругу специалистов в области автоматизации, эксплуатации сложных систем и многим другим. Вместе с тем, это очень широкая тема и уровень погружения, несомненно, отличается для различных профилей. В частности, для разработчиков компьютерной техники важны знания микроархитектуры [1, 2] и принципов построения вычислительных систем [3], для радиоинженеров фокус делается на применении микропроцессоров и микроконтроллеров в устройствах управления

и обработки данных, а для IT-специалистов – на разработке и отладке низкоуровневого программного обеспечения (ПО) [4].

Другой важной особенностью являются быстрые изменения на рынке электронных компонентов, быстрый рост производительности микропроцессоров и появление новых технологий разработки аппаратного и программного обеспечения. Естественным является стремление преподавателей дать своим студентам максимально качественные и полезные навыки, обеспечивающие конкурентоспособность на рынке труда и стимулирующие к дальнейшему саморазвитию. На этом пути необходимо найти разумный компромисс между формированием надежных фундаментальных знаний и созданием практи-

ческих способностей к быстрой разработке аппаратного и программного обеспечения с использованием распространенных платформ, в которых многие важные элементы скрыты под слоем оберток высокого уровня. На тему использования подобных платформ написано довольно много статей [5–9]. Следует отметить, что для преподавателя, который стремится дать глубокие знания и умения по разработке низкоуровневого программного обеспечения и микропроцессорной техники, естественная тяга студентов к получению быстрых результатов с минимумом затрачиваемых усилий с помощью таких платформ иногда является непростым препятствием. Для того, чтобы добиться желаемого результата, необходимы качественные учебные пособия, например, [10], тщательно подготовленный лекционный материал и лабораторный практикум, включающий работу с современным аппаратным обеспечением. Учитывая быстрый прогресс в этой области, поддержание высокого уровня требует и заметных материальных затрат, связанных с приобретением отладочных плат или стендов, и усилий по модернизации методических материалов. В этих условиях возникает соблазн к переходу на чисто виртуальный практикум [11–13], что дает ряд преимуществ, но лишает студента важного ощущения реальности выполняемой разработки. По мнению авторов данной статьи, такой подход не может быть полноценной заменой практикума с физическим контактом студента с оборудованием.

Данная статья посвящена опыту реализации дистанционного курса в условиях карантинных ограничений, исключающих возможность проведения лабораторного практикума на базе университетской лаборатории. Следует отметить, что специфика практикума, безусловно, способствует его виртуализации, однако, авторы стремились сохранить важную составляющую – работу с оборудованием. Опыт распространяется на несколько разных по длительности и нацеленности дисциплин, ориентированных на студентов бакалавриата и магистратуры. Лабораторный практикум состоит из набора лабораторных работ по освоению базовых навыков работы с электронными компонентами и средствами разработки. Несмотря на различный уровень обучающихся и несколько разную нацеленность курсов, рассматриваются одни и те же лабораторные работы или их сочетания. Можно выделить че-

тыре основных укрупненных темы: 16-разрядные микроконтроллеры (семейство MSP430), 32-разрядные контроллеры (K1986BE92 на базе ядра CORTEX-M3), ПЛИС – программируемые логические интегральные схемы (на базе FPGA SPARTAN-6 фирмы Xilinx) и интерфейсы (USB и Ethernet на базе отладочной платы Ethernet Starter Kit). Лабораторные работы включают три этапа: работа в режиме симулятора с готовым кодом, работа в режиме эмулятора с отладочной платой и индивидуальное задание. Сложность заданий существенно отличается для студентов из разных групп и варьируется в зависимости от индивидуальных успехов.

Основной обсуждаемой темой является работа студентов в удаленном режиме, поддержка дистанционной работы с отладочными платами и организация взаимодействия студент-преподаватель с контролем выполнения заданий.

Материалы и методы

Программа лабораторного практикума

Представляемая программа лабораторного практикума является базовой и может корректироваться для конкретной образовательной программы в зависимости от степени изначальной подготовки студентов. Самодостаточность заключается в универсальности, т. е. представлены все основные этапы: от начального уровня – разработки простых цифровых устройств на базе ПЛИС Spartan-6, до разработки устройств с интерфейсом USB и устройств класса IoT (Интернет вещей) на базе микроконтроллеров PIC32.

Общая программа лабораторного практикума состоит из следующих циклов:

1. «Разработка цифровых устройств на базе ПЛИС» (2 лабораторные работы + индивидуальное задание) – разработка и отладка цифровых устройств на базе FPGA Spartan-6. Первая работа происходит в режиме симулятора и посвящена разработке простейшего цифрового устройства без подключения к отладочной плате. Её цель – научить студентов основным операциям разработки и моделирования цифровых устройств с помощью среды Xilinx ISE (или Vivado). Вторая – уже более сложное цифровое устройство – счетчик нажатий кнопок. Работа построена таким образом, чтобы показать студентам разнообразные

приемы создания цифровых устройств. Студенты должны отладить устройство на отладочной плате Spartan-6 от Digilent и продемонстрировать его работоспособность. Индивидуальное задание также рассчитано на работу с отладочной платой и представляет собой, по сути, отдельную лабораторную работу.

2. «Основы разработки устройств на базе микроконтроллеров» (5 лабораторных работ). Вводная работа ориентирована на 16-битные микроконтроллеры из семейства MSP430 и происходит полностью в режиме симулятора IDE IAR Embedded Workbench от IAR Systems. Работа с дисплеем (вторая) и touch-панелью (третья) используют отладочную плату MSP430 Experimenter's Board от Texas Instruments. Микроконтроллеры этого семейства широко известны и подходят для начального знакомства с микроконтроллерной техникой [14, 15]. Далее две работы посвящены 32-битному отечественному контроллеру K1986BE92 производства компании Миландр (г. Зеленоград) на базе архитектуры CORTEX-M3. Выбор МК с ядром CORTEX-M3 обусловлен широким распространением этой архитектуры, наличием отечественных микросхем с этим ядром и достаточно широкий набор

учебных пособий, описывающих его особенности [16–19]. Обе работы используют IDE μ Vision от Keil и дают возможность поработать как в режиме симулятора, так и с отладочной платой для изучения базовых основ микроконтроллера (четвертая работа) и работы с периферией (пятая). В этой части большое внимание уделяется умению применять современные инструменты разработки и отладки программного обеспечения для микроконтроллеров различного класса и умению работать с отладочными платами – необходимому элементу компетенций современного разработчика.

3. «Современные интерфейсы» (2 лабораторные работы) – разработка и отладка программного кода для устройства, поддерживающего интерфейс USB, и устройства класса IoT. Каждому интерфейсу посвящена отдельная работа, где студенты работают с отладочной платой Ethernet Starter Kit от Microchip Technology на базе 32-битного микроконтроллера PIC32. В этой части особое внимание уделяется умению интегрировать в свою разработку существующие библиотеки поддержки сложных интерфейсов и способности разрабатывать устройства, подключаемые к компьютеру или работающие, как узел сети Интернет.

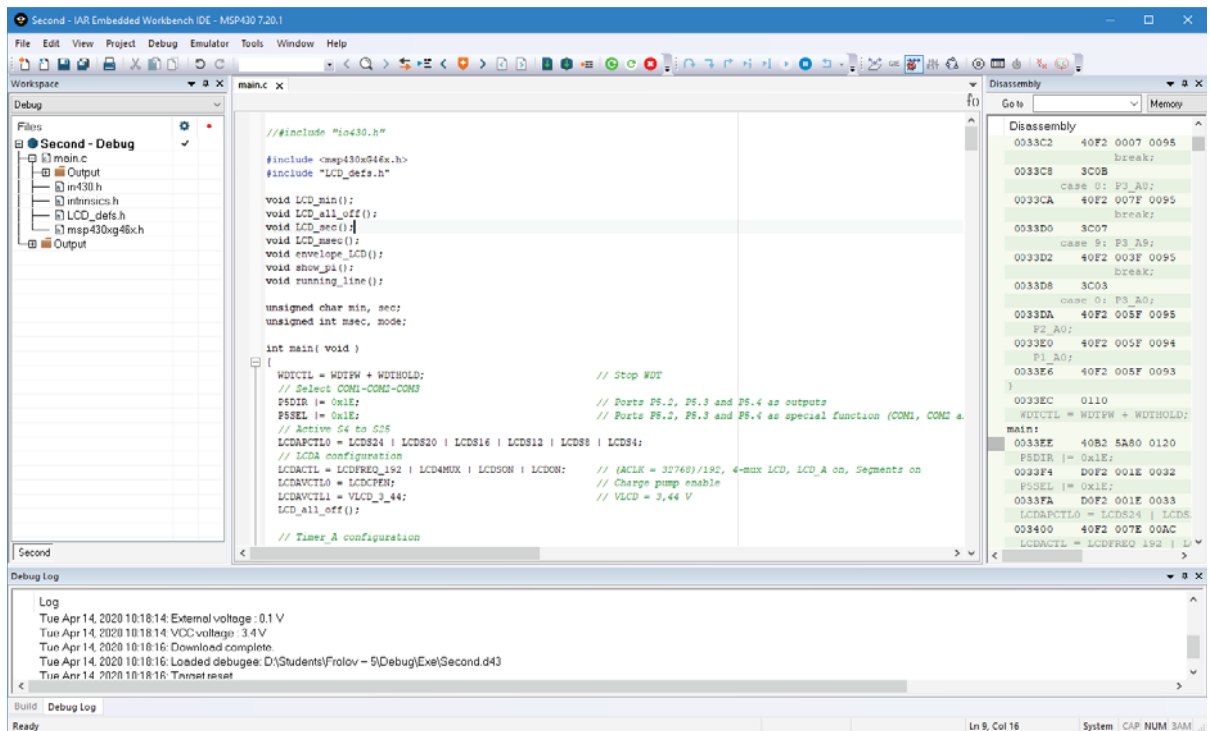


Рис. 1. Рабочее окно IDE IAR Embedded Workbench. На скриншоте показан пример проекта для микроконтроллера семейства MSP430

Fig. 1. IAR Embedded Workbench IDE working window. The screenshot shows an example project for the MSP430 microcontroller family

В общем случае организация аудиторных занятий при наличии описанного выше оборудования состоит из следующих этапов:

1. Разработка непосредственно на занятии студентом в компьютерном классе в IDE программного кода (или цифрового устройства) согласно методическим указаниям с последующей верификацией при помощи симулятора микроконтроллера/ПЛИС.
2. Отладка (там, где она предусмотрена методическими указаниями) на отладочной плате, выданной в компьютерном классе преподавателем.
3. Работа с индивидуальным (или групповым – для микроколлектива) заданием.
4. Защита лабораторной работы с демонстрацией достигнутых результатов.

Реализация дистанционной формы лабораторного практикума

В условиях невозможности посещения студентом (или даже коллективом студентов) занятий по установленному расписанию требуется реализовать модель дистанционного обучения. В качестве уважительной причины перехода на дистанционное обучение может выступать не только необходимость соблюдения карантинных мер, но также иная невозможность посетить компьютерный класс, например, по медицинским показаниям. В этом случае дистанционное обучение – отличный способ для студента заниматься индивидуально и получать практические навыки, заложенные в программе обучения.

Одним из подходов к реализации дистанционного лабораторного практикума по цифровой и микропроцессорной технике, на наш взгляд, является создание центра коллективного доступа, представляющего собой облачную инфраструктуру по технологии PaaS (Platform as a Service, платформа как услуга) [20], в которой каждому студенту выделяется виртуальная машина с запущенной копией операционной системы с предустановленными драйверами, библиотеками и IDE. Каждый студент заходит удаленно на свою виртуальную машину путем терминальной программы, например, VM-Ware Horizon и выполняет лабораторную работу согласно методическим указаниям точно так же, как если бы физически находился в классе. Дополнительно требуется реализация онлайн-конференции для организации совместной работы в классе и взаимодействия с преподавателем.

Очевидно, что данный подход весьма выгоден, ибо масштабируем и отказоустойчив и позволяет реализовать себя путем любого имеющегося облачного сервиса, как на базе известных сервисов, таких как, Microsoft Azure, так и на базе, например, собственного суперкомпьютерного центра Самарского университета. Однако, важнейшим фактором является то, студенты не могут видеть реальный результат своей работы (переключение каналов, мигание светодиодов и т. д.), т. к. отладочные платы установлены в центре коллективного доступа. Кроме того, процесс усложняется тем, что необходимо взаимодействовать с отладочной платой на стороне центра: подключать/отключать, активировать режимы (менять переключки), менять положение переключателей на отладочной плате и т. д.

В статье предлагается иной способ реализации модели дистанционного обучения при проведении лабораторного практикума по цифровой и микропроцессорной технике. Прежде всего, мы выделяем две подмодели дистанционного обучения студентов: первый (рис. 2а), когда преподаватель работает из компьютерного класса и использует вычислительные ресурсы тех же компьютеров, что и при очном занятии. И второй (рис. 2б) – мы назвали его двойное дистанционное обучение (по аналогии с двойным слепым рецензированием), когда преподаватель тоже работает за пределами кампуса, т. е. дистанционно (удаленно). Второй случай примечателен тем, что у преподавателя уже не будет возможности пользоваться ресурсами компьютерного класса. Предположим, что он имеет лишь один персональный компьютер и по одному набору отладочных плат.

В первом случае мы предлагаем подключить к каждому компьютеру веб-камеру и микрофон и дополнительно установить программу удаленного рабочего стола, в качестве которой мы использовали TeamViewer, а также ПО для Video-over-IP-звонков, например, Skype. Студент может зайти на свой персональный компьютер удаленно и работать в предустановленной IDE. Для работы с оборудованием преподавателю достаточно просто подключить отладочную плату к соответствующему компьютеру. Веб-камера будет транслировать через Video-over-IP «результат» работы, а микрофон и наушники дают возможность консультировать студентов. Для координации действий группы мы использовали сервис на

платформе BigBlueButton, предустановленной в сети университета, позволяющий проводить виртуальные конференции. Эта платформа

позволяет записывать сессии, что полезно для последующего анализа, а также координировать действия студентов.

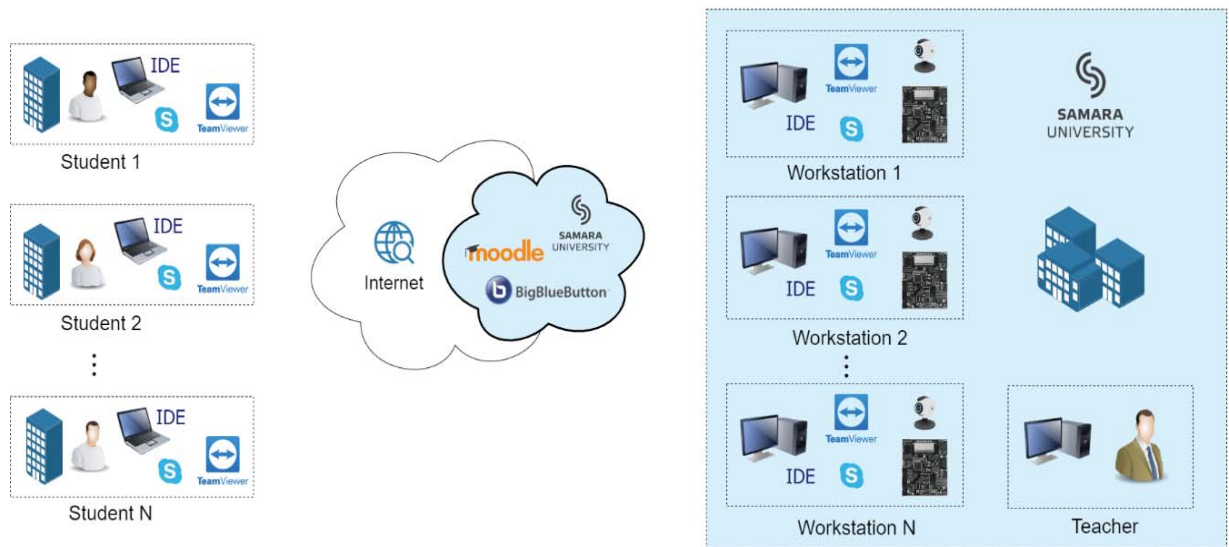


Рис. 2а. Модели дистанционного обучения: модель с использованием имеющегося компьютерного класса университета

Fig. 2a. Distance Learning Models: The Model, using the University's existing computer lab



Рис. 2б. Модели дистанционного обучения: модель дистанционного обучения с использованием только дистанционных сервисов

Fig. 2b. Distance Learning Models: The Distance Learning Model, using distance services only

В случае двойной дистанционной модели обучения, компьютеры и студентов, и преподавателя должны иметь локальные версии необходимого программного обеспечения, так как студентов, очевидно, больше, чем преподавателей, а поочередная дистанционная работа студентом на компьютере преподавателя по аналогии с первым подходом изначально неэффективна. Так как в практикуме используются свободно распространяемые

версии ПО с ограничением на размер кода, трудностей с лицензированием не возникает. Ряд компаний, в частности, Microsoft, имеет специальные предложения для вузов, позволяющие студентам использовать ПО в учебных целях. Схема работы аналогична предыдущему случаю с использованием TeamViewer, Skype и веб-камеры. Дистанционная отладка возможна путем подключения к компьютеру преподавателя отладочной платы. Общая ком-

муникация и координирование осуществляется также через сервис BigBlueButton в сети университета, доступ к которому возможен через тонкий клиент, доступный через браузер. Недостатком этой схемы является невозможность работы с отладочной платой сразу нескольких студентов (микроколлективов). Практика показала, что это обстоятельство не является существенным ограничением из-за специфики лабораторного практикума, где студенты, в основном, проверяют свои решения на отладочной плате. В этом случае преподаватель наблюдает за процессом проверки и отладки, указывает на проблемы, обозначает пути решения, и студент может дорабатывать свой проект на своей локальной машине. Еще одним вариантом преодоления этого «узкого места» является привлечение ассистентов из числа аспирантов или студентов в качестве дополнительной точки подключения.

Результаты и дискуссия

Описание выборки и опроса

В течение весеннего семестра 2020 года сценарий двойного дистанционного обучения был опробован в учебном процессе Самарского университета в нескольких дисциплинах, предусматривающих лабораторный практикум по изучению микроконтроллерной техники. По итогам практикума студентам было предложено ответить на вопросы анкеты об эффективности обсуждаемого сценария. Кроме этого, анкетирование проведено и для студентов, которые по объективным причинам были вынуждены обучаться дистанционно, но не использовали сценарий двойного дистанционного обучения.

В опросе участвовало 322 студента, в том числе 264 студента, обучающихся по программам бакалавриата, 23 – магистратуры и 34 – специалитета. Среди опрошенных студентов 18,3 % использовали один из описанных выше сценариев (далее – курс микроконтроллеров). Для этих студентов было проведено дополнительное тестирование с учетом особенностей преподавания этих дисциплин.

В ходе опроса студентам было предложено оценить эффективность различных способов или подходов к организации существующих форм учебного процесса или типов занятий, в том числе: освоение теоретического материала (лекции) и лабораторные занятия. Опрашиваемым предлагалось оценить каждый способ

в градации «очень низкая» – «низкая» – «средняя» – «высокая» – «очень высокая», что соответствует 1, 2, 3, 4 и 5 баллам, соответственно. Средняя оценка определяет эффективность того или иного способа.

Необходимо отметить, что почти 99 % студентов имеют в своем распоряжении персональный компьютер или ноутбук. Среди них 77 % (247 человек) имеют личный компьютер, а около 21 % (67 человек) – делят его с другими членами семьи. Среди студентов, изучающих курс микроконтроллеров, личный компьютер (ПК или ноутбук) есть у 83 % (49 человек) студентов, 15 % (9 человек) делят его с другими, и только у одного человека нет ПК или ноутбука, пригодного для обучения.

Об освоении теоретического материала

Степень освоения теоретического материала напрямую влияет и на качество освоения лабораторного практикума, поэтому мы посчитали необходимым привести результаты соответствующего опроса (рис. 3). Эффективными подходами к освоению теоретического материала студенты считают проведение преподавателем вебинаров или лекций с использованием видеосервисов и рассылку электронных материалов лекций. Причем самую высокую эффективность студенты отметили при комбинировании этих двух подходов: преподаватель и проводит видео-лекции, и предоставляет к скачиванию материалы лекций. Эффективность очных лекций, проводимых преподавателем в учебных аудиториях (стандартный режим обучения), студенты оценили, как среднюю.

Что касается студентов, изучающих микроконтроллеры, то они в целом еще выше оценивают различные формы проведения удаленных занятий (включая самостоятельное изучение присланных материалов) кроме самостоятельного изучения материала по рекомендованной литературе. При этом в оценке эффективности классических очных лекций их мнение полностью совпало с мнением остальных студентов.

Самыми эффективными техническими средствами для реализации дистанционного обучения и освоения теоретического материала студенты называют электронную почту, видеосервисы, личный кабинет обучающегося Самарского университета и платформу Moodle.

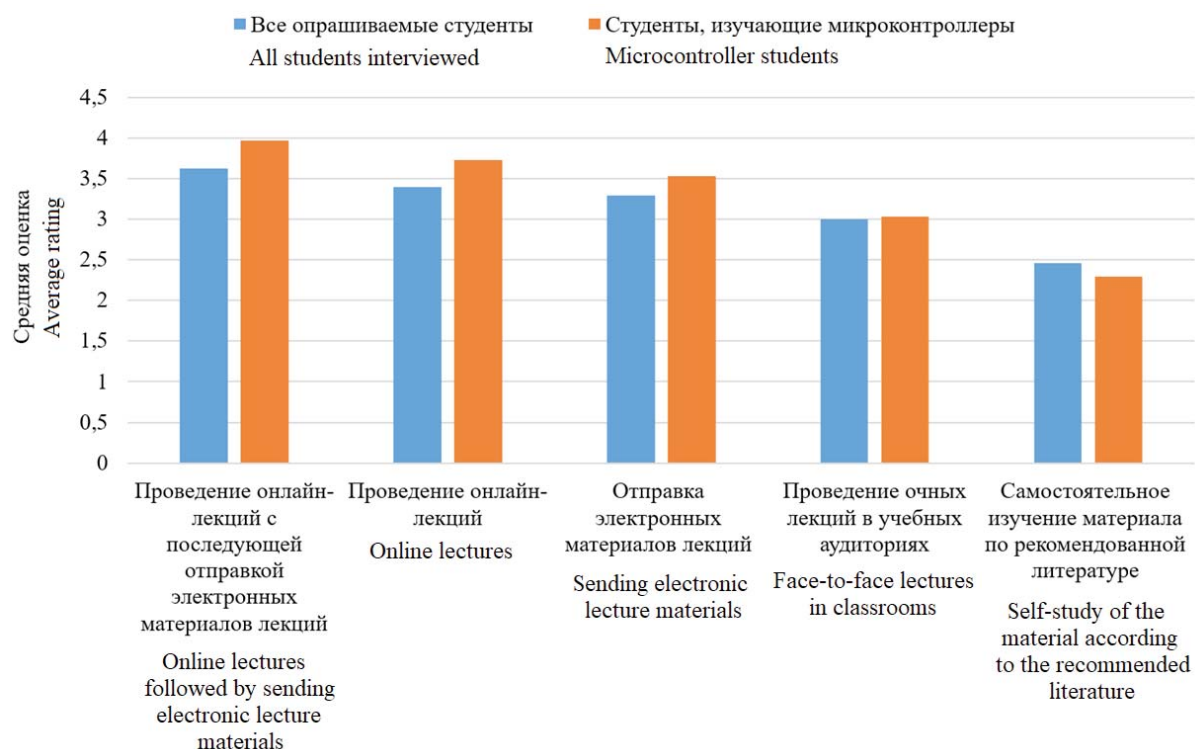


Рис. 3. Эффективность подходов к освоению теоретического материала

Fig. 3. The effectiveness of approaches to the perception of theoretical material

О проведении лабораторных работ

В части лабораторного практикума (рис. 4) студенты курса микроконтроллеров также оценили различные формы проведения дистанционных занятий выше прочих студентов (включая самостоятельное выполнение с последующей отчетностью, общий подход которых описан в предыдущей главе). Немного неожиданной выглядит оценка классических очных занятий: они оценены практически на 0,5 балла ниже, чем дистанционные.

Среди студентов, изучающих курс микроконтроллеров, была проведена также оценка форм защиты лабораторных работ. Изучались следующие формы: предоставление отчета о проделанной работе, ответы на вопросы в письменной форме, ответы на вопросы в устной форме, демонстрация работы программы. Хотя в целом оценки студентами каждой формы примерно одинаковы, немного более эффективными, по мнению студентов, оказались демонстрация работы программы (оценка 3,58) и оформление отчета (оценка 3,68). Интересно, что среди письменных и устных ответов на вопросы студенты все же предпочитают отвечать письменно (оценка 3,36 и 3,2, соответственно).

О работе с отладочной платой

Изучение эффективности подходов к работе с отладочной платой также преподносит любопытный результат (рис. 5). Студенты оценивают дистанционную форму работы как более эффективную, нежели работу с отладочной платой в аудитории. Вероятно, такой результат вызван несколькими причинами. Во-первых, работа с отладочной платой подразумевает наличие у студента не только навыков программирования, но и общих навыков работы с электронными устройствами. При дистанционной форме обучения отладочная плата находится на стороне преподавателя и значительная часть работы с ней (работа с программатором, переключение режимов и т. д.) выполняется преподавателем. Это обстоятельство несколько облегчает работу студента, с другой стороны, частично лишая его дополнительной практической тренировки. Во-вторых, в случае дистанционного обучения, студент пользуется возможностью персональной консультации преподавателя, в то время как в условиях очной работы с отладочными платами в учебной аудитории внимание преподавателя рассеяно на всех студентов.

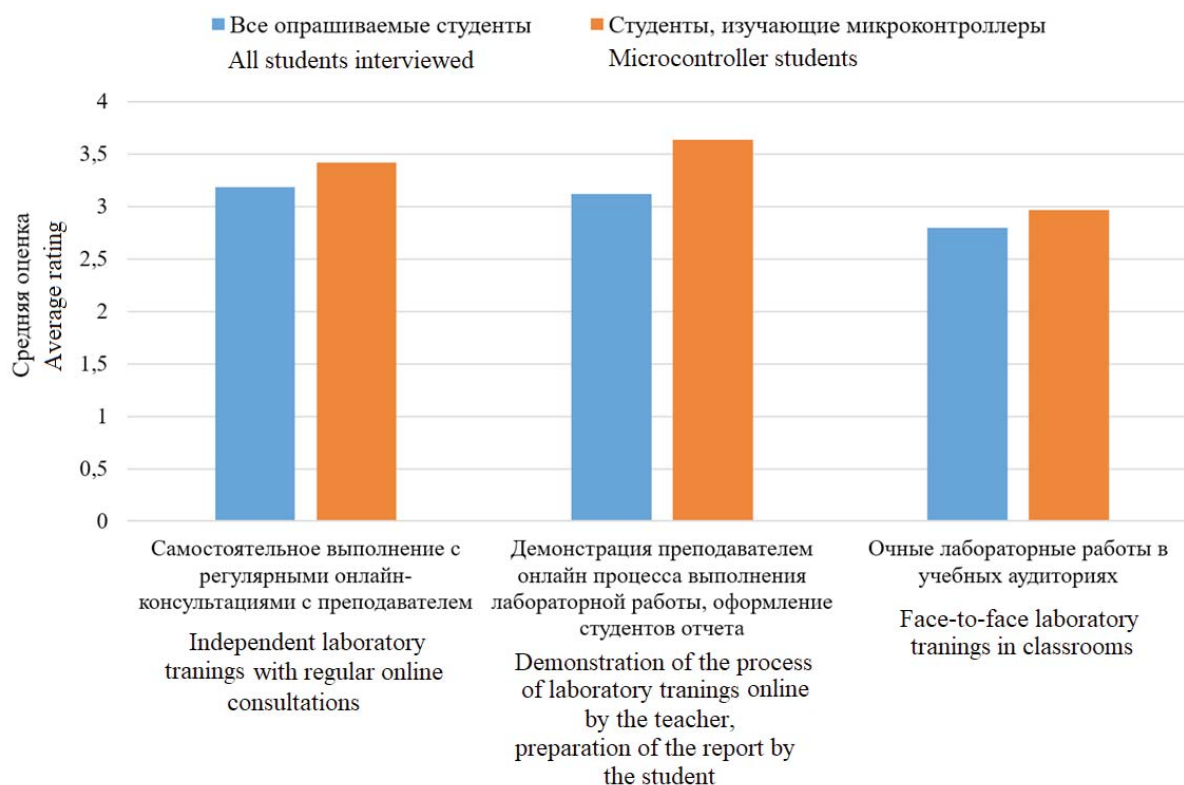


Рис. 4. Эффективность подходов к выполнению лабораторных работ
Fig. 4. The effectiveness of approaches to laboratory trainings

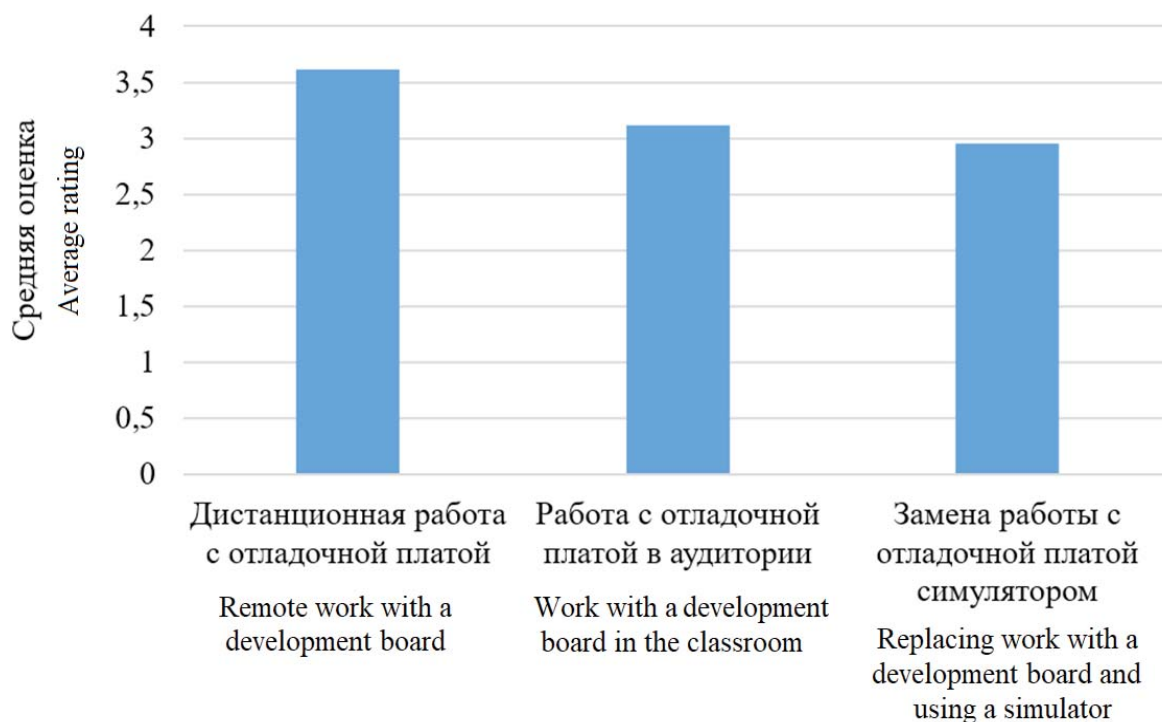


Рис. 5. Эффективность подходов к работе с отладочной платой
Fig. 5. The effectiveness of approaches to working with a development board

Общая оценка дистанционного обучения

Лишь 14 % всех студентов отметили (рис. 6), что переход на дистанционную форму дал им

возможность улучшить свою успеваемость, в то время как 60 % не увидели улучшений или даже ухудшили свою успеваемость.

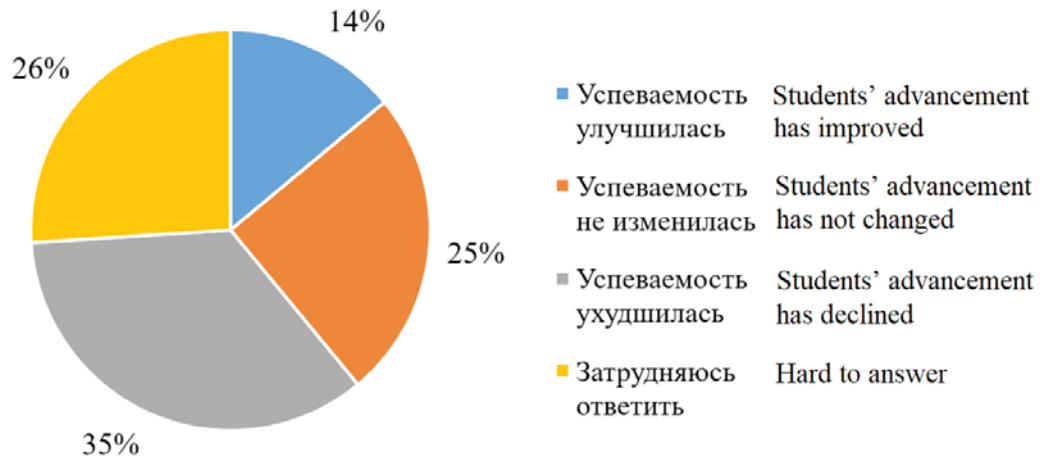


Рис. 6. Оценка изменений успеваемости студентов
Fig. 6. Assessment of changes in students' advancement

Среди преимуществ дистанционного обучения студенты отмечают (рис. 7) гибкость учебного процесса и распорядка дня (60 %), возможность учиться в комфортной и привычной обстановке (58 %), технологичность процесса обучения и использование информационных технологий (33 %).

Среди недостатков дистанционного обучения студенты отмечают трудности обучения практическим навыкам, в том числе невозможность работы с лабораторным оборудованием, проведения экспериментов и др. (73 %), отсутствие личного контакта с преподавателем и другими студентами (56 %).

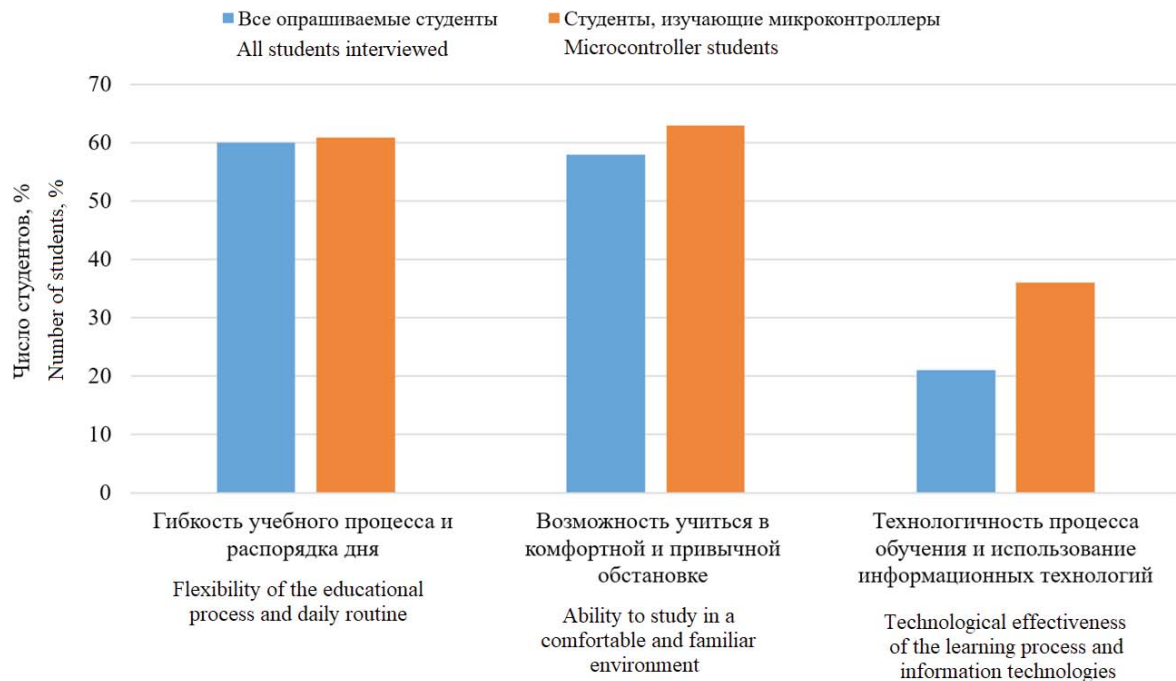


Рис. 7. Основные отмеченные студентами преимущества дистанционного обучения (вопрос с множественным выбором, сумма процентов больше 100)
Fig. 7. Main benefits of distance learning noted by students (multiple choice question, percentage exceeds 100)

Среди других популярных проблем – большой объем самостоятельной работы и установка неадекватных, по их мнению, сроков выполнения заданий. Так, 54 % общего числа опрошенных студентов отмечают увели-

чение времени, затрачиваемого на обучение по сравнению с очной формой. Непривычность удаленного управления отладочной платой, возможность видеть ее лишь через окно веб-камеры, необходимость тщательной от-

ладки на симуляторе (что не всегда возможно) не могли не сказаться на оценке инструмента удаленного доступа, при падении субъективной самооценки успеваемости (примерно треть опрошенных) и эффективности обучения в целом (почти половина опрошенных). Никаких недостатков дистанционного обучения не отметили только 6 % студентов.

В целом эффективность применения дистанционного обучения на примере Самарского университета отметили как «высокую» и «выше среднего» 45 % от общего числа опрошенных студентов, «среднюю» – 32 %, а «низкую» и «ниже среднего» – 18 % студентов.

13 % студентов в принципе не поддерживают внедрение элементов дистанционного обучения в учебный процесс. В поддержку же высказались 87 % студентов, среди которых 43 % считают дистанционное обучение полезным даже при отсутствии проблем, мешающих «живому» общению в стенах университета. В беседе со студентами выяснилось, что многие студенты хотели бы иметь возможность обучаться дистанционно в периоды отсутствия их в университете по болезни, семейным обстоятельствам и т. д.

Заключение

Таким образом, опыт проведения лабораторного практикума показал, что специфика обучения микропроцессорам и цифровым устройствам позволяет обеспечить дистанционное освоение ключевых компетенций курса, особенно в части разработки и отладки

ПО. Эксперимент с дистанционной работой с оборудованием также показал свою эффективность, сохранив возможность демонстрации обучающимся ряда важных практических навыков, и, что важно для разработчиков, опыта самостоятельного низкоуровневого управления микроконтроллером или ПЛИС.

Несмотря на вышесказанное, нельзя считать абсолютно адекватной полную замену реальной работы с оборудованием на дистанционную проверку работоспособности программ.

Исследование мнений студентов показывает, что многие из них высоко оценили дистанционную форму работы, мотивируя это гибкостью графика. К сожалению, в ситуации, когда значительная часть студентов вынуждена зарабатывать параллельно с обучением, внедрение дистанционной формы становится безальтернативным, если мы хотим обеспечить студентам требуемые компетенции хотя бы в минимальном объеме.

Следует также отметить, что исследование среди студентов старших курсов не может быть в полной мере перенесено на студентов 1–2 курсов, в подавляющем большинстве не обладающих необходимой мотивацией. Иначе говоря, перед тем как частично переходить на дистанционную форму, необходима значительная предварительная подготовка, в течение которой студенты должны освоить искусство управления своим временем и получить базовые навыки изучения общетехнических дисциплин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойков В.И., Болтунов Г.И., Быстров С.В., Григорьев В.В., Литвинов Ю.В. Цифровая техника систем управления – СПб.: Университет ИТМО, 2018. – 139 с.
2. Альфонсо Д.М., Деменко Р.В., Кожин А.С., Кожин Е.С., Кольчев Р.Е., Костенко В.О., Поляков Н.Ю., Смирнова Е.В., Смирнов Д.А., Смольянов П.А., Тихорский В.В. Микроархитектура восьмиядерного универсального микропроцессора «Эльбрус-8С» // Вопросы радиоэлектроники. – 2016. – Т. 4. – № 3. – С. 6–13.
3. Маркова В.П., Киреев С.Е., Остапкевич М.Б., Перепелкин В.А. Эффективное программирование современных микропроцессоров – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 148 с.
4. Kudryavtsev I. Teaching digital electronics and microprocessors in a University // Proceedings of the 12th Central and Eastern European Software Engineering Conference in Russia, Cee-Secr 2016. – pp. 1–4. URL: https://www.researchgate.net/publication/312517021_Teaching_digital_electronics_and_microprocessors_in_a_University (дата обращения: 09.03.2020)
5. Байда А.С. Использование платформы Arduino при подготовке специалистов автомобильной отрасли // Концепт. – 2016. – № 5. – С. 150–156.
6. Пионкевич В.А. Инструменты для обучения современным средствам цифровых систем автоматического управления нетрадиционными источниками электрической энергии на основе микроконтроллеров // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – № 6 (113). – С. 136–145.
7. Я презираю Arduino. URL: <https://habr.com/ru/post/146489/> (дата обращения: 27.06.2020).

8. Почему не стоит использовать Arduino для обучения программированию // Журнал РАДИО-ЛОЦМАН. – 2018. URL: <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=500219> (дата обращения: 27.06.2020).
9. Роганов С.А., Рыжков А.И. Программирование микроконтроллеров как альтернативное содержание курса информатики для технических специальностей // Вестник педагогических инноваций. – 2017. – № 3 (47). – С. 73–79.
10. Harris D., Harris S. Digital design and computer architecture – Elsevier, Morgan Kaufmann Publishers, 2010. – 593 p.
11. Параскевов А.В., Жмурко Д.Ю., Курносое С.А., Лойко В.И. Микропроцессоры: лабораторный практикум (по специальности 230700.62 – «Прикладная информатика» и 230400.62 – «Информационные системы и технологии») – Краснодар: КубГАУ, 2013. – 71 с.
12. Сорокин С.В., Сорокина И.В., Солдатенко И.С. Использование виртуальных лабораторий в инженерном образовании // Инженерное образование. – 2017. – № 21. – С. 127–132.
13. Мухлисов С., Зарипов Н. Разработка и внедрение лабораторного виртуального практикума по курсу «Основы микропроцессора и компьютерной техники» на основе современных компьютерных технологий // Наука. Мысль: электронный периодический журнал. – 2015. – Т. 5. – № 1. – С. 54–58.
14. Микроконтроллер MSP430TM со сверхнизким энергопотреблением // Texas Instruments. URL: <https://www.ti.com/lit/sg/slab055/slab055.pdf> (дата обращения: 27.06.2020).
15. Шкелёв Е.И., Калинин В.А., Пархачёв В.В. Знакомство с микроконтроллером серии MSP430. Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. – 27 с.
16. Алалуев Р.В., Глаголев В.М., Мосур А.А., Владимиров Л.Л. Основы программирования 32-разрядных микроконтроллеров 1986VE91T компании «Миландр»: руководство к выполнению лабораторных работ – М., 2017. – 128 с.
17. Алексеев А.А., Владимиров Л.Л., Гуреев П.В., Левицкий Д.О., Тогидный О.Б., Шумилин С.С. Практикум для лабораторных работ по курсу «Программирование микроконтроллеров» – М.: МИЭТ, 2015. – 48 с.
18. Торгаев С.Н., Мусоров И.С., Солдатов А.А., Сорокин П.В. Программирование микроконтроллеров с ядром Cortex-M3 в задачах диагностики и контроля: учебное пособие – Томск: STT, 2017. – 104 с.
19. Квашин А. STM32F105/107 – новые линейки микроконтроллеров компании STMicroelectronics // Электронные компоненты – 2009. – № 5. – С. 34–35.
20. Popel M.V., Shyshkina M.P. The areas of educational studies of the cloud-based learning systems // Proceedings of the 6th Workshop on Cloud Technologies in Education (CTE 2018), Kryvyi Rih, Ukraine, December 21, 2018. – CEUR Workshop Proceedings, 2019. – № 2433. – С. 159–172.

Дата поступления: 28.06.2020

UDC 372.862+378

EXPERIENCE OF REMOTE LABORATORY WORKSHOP IMPLEMENTATION FOR STUDYING DIGITAL DEVICES AND MICROPROCESSORS

Ilya A. Kudryavtsev,

Cand. Sc., Associate Professor,

Dean of the Faculty of Electronics and Instrument Engineering,

rtf@ssau.ru

Oleg O. Myakinin,

Senior Lecturer of the Department of Laser and Biotechnical Systems,

myakole@gmail.com

Irina A. Matveeva,

Postgraduate Student of the Department of Laser and Biotechnical Systems,

m-irene-a@yandex.ru

Samara National Research University,
34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russia.

The paper is focused on using distant learning technologies, while teaching digital devices and microcontrollers. This course is one of the pivotal ones for electronic and computer engineers. Laboratory trainings play a substantial role in the course, working out necessary experience of software development and debugging in microcontroller-based applications. Theoretical background and practical experience are essential components of the competences, planned within the course. Thus, the course should comprise elements of autonomous study and exercises with practical job under the guidance of an expert. Nowadays it is important, since we want to provide both profound knowledge and practical experience of engineering activity. Restrictions due to the pandemic make this experience actual. The aim of the research is to display various approaches, applicable, when students cannot attend their classes and carry out their research in traditional way. Combination of theoretical e-learning and remote control of evaluation modules during laboratory trainings can be a good solution. This approach can combine important experience of autonomous training in software development and computer simulation, and instructor-guided hardware-based techniques.

The paper contains relevant data, obtained as feedback of students of Samara University, studied in distant mode in spring semester of the year 2020. The results display that majority of respondents supports e-learning in various forms, including proposed ones. Some particular details of the implementation are also discussed.

Key words: e-learning, digital devices, microcontrollers, laboratory training, distant teaching.

REFERENCES

1. Boykov V.I., Boltunov G.I., Bystrov S.V., Grigoriev V.V., Litvinov Yu.V. *Tsifrovaya tekhnika sistem upravleniya* [Digital technology of control systems]. St. Petersburg, ITMO University, 2018. 139 p.
2. Alfonso D.M., Demenko R.V., Kozhin A.S., Kozhin E.S., Kolychev R.E., Kostenko V.O., Polyakov N.Yu., Smirnova E.V., Smirnov D.A., Smolyanov P.A., Tikhorsky V.V. Mikroarkhitektura vosmiyadernogo universalnogo mikroprotssora «Elbrus-8C» [Microarchitecture of the eight-core universal microprocessor "Elbrus-8C"]. *Voprosy radioelektroniki*. 2016, vol. 4, no. 3, pp. 6–13.
3. Markova V.P., Kireev S.E., Ostapkevich M.B., Perepelkin V.A. *Effektivnoye programmirovaniye sovremennykh mikroprotssorov* [Effective programming of modern microprocessors]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2014, 148 p.
4. Kudryavtsev I. Teaching digital electronics and microprocessors in a University. *Proceedings of the 12th Central and Eastern European Software Engineering Conference in Russia Cee-Secr 2016*, pp. 1–4. Available at: https://www.researchgate.net/publication/312517021_Teaching_digital_electronics_and_microprocessors_in_a_University (accessed: 09.03.2020)
5. Baida A.S. Ispolzovaniye platformy Arduino pri podgotovke spetsialistov avtomobilnoy otrasli [Using the Arduino platform in training specialists in the automotive industry]. *Kontsept*, 2016, no. 5, pp. 150–156.
6. Pionkevich V.A. Instrumenty dlya obucheniya sovremennym sredstvami tsifrovoykh sistem avtomaticheskogo upravleniya netraditsionnymi istochnikami elektricheskoy energii na osnove mikrokontrollerov [Tools for teaching modern means of digital systems for automatic control of non-traditional sources

- of electrical energy based on microcontrollers]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2016, vol. 6, no. 113, pp. 136–145.
7. Ya prezirayu Arduino [I despise Arduino]. Available at: <https://habr.com/ru/post/146489/> (accessed 27.06.2020).
 8. Pochemu ne stoit ispolzovat Arduino dlya obucheniya programmirovaniyu [Why you should not use Arduino for teaching programming]. *RADIOLOTSMAN*. 2018. Available at: <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=500219> (accessed 27.06.2020).
 9. Roganov S.A., Ryzhkov A.I. Programmirovaniye mikrokontrollerov kak alternativnoye sodержaniye kursa informatiki dlya tekhnicheskikh spetsialnostey [Microcontroller programming as an alternative content of the computer science course for technical specialties]. *Vestnik pedagogicheskikh innovatsiy*. 2017, vol. 3, no. 47, pp. 73–79.
 10. Harris D., Harris S. *Digital design and computer architecture*. Elsevier, Morgan Kaufmann Publishers, 2010, 593 p.
 11. Paraskevov A.V., Zhmurko D. Yu., Kurnosov S.A., Loiko V.I. *Mikroprotsessory: laboratornyy praktikum (po spetsialnosti 230700.62 – «Prikladnaya informatika» i 230400.62 – «Informatsionnyye sistemy i tekhnologii»)* [Microprocessors: laboratory workshop (specialty 230700.62 – “Applied Informatics” and 230400.62 – “Information Systems and Technologies”)]. Krasnodar, KubSAU, 2013, 71 p.
 12. Sorokin S.V., Sorokin I.V., Soldatenko I.S. Use of virtual laboratories in engineering education. *Engineering education*. 2017, no. 21, pp. 127–132. In Rus.
 13. Mukhlisov S., Zaripov N. Razrabotka i vnedreniye laboratornogo virtualnogo praktikuma po kursu «Osnovy mikroprotsessora i kompyuternoy tekhniki» na osnove sovremennykh komp'yuternykh tekhnologiy [Development and implementation of a laboratory virtual workshop on the course “Fundamentals of microprocessor and computer technology” based on modern computer technology]. *Nauka. Mysl: elektronnyy periodicheskiy zhurnal*. 2015, vol. 5, no. 1, pp. 54–58.
 14. *Mikrokontroller MSP430TM so sverkhnizkim energopotrebleniyem* [Microcontroller MSP430TM with ultra-low power consumption]. Available at: <https://www.ti.com/lit/sg/slab055/slab055.pdf> (accessed 27.06.2020).
 15. Shkelev E.I., Kalinin V.A., Parkhachev V.V. *Znakomstvo s mikrokontrollerom serii MSP430. Praktikum* [Introducing the MSP430 Series Microcontroller. Workshop]. Nizhny Novgorod, Nizhegorodskiy gosuniversitet, 2015, 27 p.
 16. Alaluev R.V., Glagolev V.M., Mosur A.A., Vladimirov L.L. *Osnovy programmirovaniya 32-razryadnykh mikrokontrollerov 1986VE91T kompanii «Milandr»: rukovodstvo k vypolneniyu laboratornykh rabot* [Fundamentals of programming 32-bit microcontrollers 1986BЭ91T of the Milander company: a guide to laboratory work]. Moscow, 2017, 128 p.
 17. Alekseev A.A., Vladimirov L.L., Gureev P.V., Levitsky D.O., Togidny O.B., Shumilin S.S. *Praktikum dlya laboratornykh rabot po kursu «Programmirovaniye mikrokontrollerov»* [Workshop for laboratory work on the course “Programming microcontrollers”]. Moscow, MIET, 2015, 48 p.
 18. Torgaev S.N., Musorov I.S., Soldatov A.A., Sorokin P.V. *Programmirovaniye mikrokontrollerov s yadrom Cortex-M3 v zadachakh diagnostiki i kontrolya: uchebnoye posobiye* [Programming microcontrollers with the Cortex-M3 core in the problems of diagnosis and control: a training manual]. Tomsk, STT Publ., 2017, 104 p.
 19. Kvashin A. STM32F105/107 – novye lineyki mikrokontrollerov kompanii STMicroelectronics [STM32F105/107 – new lines of microcontrollers of the company STMicroelectronics]. *Elektronnyye komponenty*. 2009, no. 5, pp. 34–35.
 20. Popel M.V., Shyshkina M.P. The areas of educational studies of the cloud-based learning systems // *Proceedings of the 6th Workshop on Cloud Technologies in Education (CTE 2018)*, Kryvyi Rih, Ukraine, December 21, 2018. CEUR Workshop Proceedings, 2019, no. 2433, pp. 159–172.

Received: 28.06.2020