**Реализация и коммерциализация результатов деятельности по проекту «Многопрофильный мобильный компьютерный класс на основе Raspberry Pi»**

А. Б. Оспанова, А. Т. Жаркимбекова, К. М. Сагиндыков

**Аннотация.** В данной работе описана разработанная технология использования микрокомпьютера Raspberry Pi в целях обучения в группах практическим навыкам по компьютерным сетям и операционным системам. Эффективность освоения с применением предложенной технологии обусловлена тем, что она позволяет организовать практикумы с персональным обеспечением необходимым специальным инструментарием.

В работе представлен в значительной степени реализованный проект на инициативной основе, предваряющий работы по коммерциализации описанных результатов. Дано описание реализации проекта – идея, обоснование, сборка устройств, программные разработки. Именно: дано полное развернутое содержание шагов по реализации и последующей коммерциализации решений, представленных в проекте. Собран опытный образец программно-аппаратного устройства. Разработаны учебные индивидуальные наборы для раздачи обучающимся на занятиях. Для изучения дисциплин «Компьютерные сети» и «Операционные системы» подготовлены методические рекомендации по содержанию, эксплуатации и обслуживанию описываемого компьютерного класса, а также готовится методическое пособие для изучения данных дисциплин с использованием этих учебных наборов; разработаны инструкции по эксплуатации устройств и комплектующих из наборов. Также подготовлены загрузочные файлы с предустановленным рабочим окружением по каждой дисциплине. Эти файлы включают: необходимые операционные системы, необходимое предустановленное программное обеспечение, настроенный пользовательский интерфейс, необходимую литературу, учебное пособие, методические рекомендации.

По части коммерциализации проведены расчеты по затратам на создание компьютерного класса на основе Raspberry Pi – реализации разработанной технологии, выполнена оценка эффективности ее внедрения. Составлен коммерческий план и выполнены расчеты по состоянию на текущую дату с ориентиром преимущественно на Казахстан; выполнены пробный дизайн и макет упаковки-кейса, информационных наклеек и обложки (а также верстка) учебного пособия; созданы промышленные образцы в целях подготовки проекта к коммерциализации.

Результаты практически значимы, при их получении использованы широко распростаненные методология и средства разработки, могут быть повсеместно использованы, в том числе в сфере образования без каких-либо ограничений.

**Ключевые слова:** Raspberry Pi, компьютерные сети, операционные системы, обучение, программно-аппаратное устройство, коммерциализация

**I Введение**

Одной из слабых сторон профессионального образования по таким направлениям, как «Операционные системы» и «Компьютерные сети», ввиду их требовательности к аппаратным ресурсам является проблема организации практических занятий. Учебный курс должен эффективно обеспечивать приобретение устойчивых востребованных навыков на достаточном в современной профессиональной сфере уровне.

Компьютерные классы многих учебных заведений организованы таким образом, что на всех машинах в классе установлена одна и та же операционная система, либо установлено несколько операционных систем на один компьютер. Компьютерная сеть, как правило, настроена и переконфигурация, перенастройка ее обучающимися не предусмотрены. Анализ информации о компьютерных лабораториях, программно-аппаратной конфигурации компьютеров в лабораториях, опубликованной на сайтах вузов мира, показывает аналогичную практику организации компьютерных классов. Так, на сайте Стэнфордского университета доступно расписание занятости компьютерных классов [1], а также описание компьютеров в них. К примеру, [2] – это лаборатория, оборудованная компьютерами Apple iMac, [3] – круглосуточно доступная учебная лаборатория компьютеров с установленными двумя системами Mac и Windows. На страницах [4] представлена информация о некоторых лабораториях Массачусетского технологического университета; [5] содержат информацию о компьютерных лабораториях Гарвардского университета. Хорошо организовано информирование в этой сфере в университете Карнеги Меллон. Действительно, расписание классов реализовано в удобной форме – [6]. [7-8] – примеры описания лабораторий свободного доступа. Примечательно, что многие из них оборудованы небольшим количеством машин с различными операционными системами (в лаборатории [7] имеется 7 Mac-, 2 Linux-, 5 Windows-машин, в лаборатории [8] – 3 Mac- и 2 Windows-машин). Однако лаборатории для занятий по расписанию, как правило, представляют собой совокупность компьютеров с установленной одной и той же операционной системой – к примеру, [9-10]. Это объясняется тем, что один и тот же класс используется для проведения различных дисциплин и для преподавания некоторых из них необходимо единообразное рабочее окружение. Исключение составляют компьютеры со свободным доступом. В разделе II.1 данной работы выделены причины, препятствующие проведению полноценных практических занятий по компьютерным сетям и операционным системам с доступом к инструментарию и самостоятельными манипуляциями, необходимыми для получения устойчивых практических навыков. Коротко эти причины, обусловленные спецификой дисциплин, можно охарактеризовать отсутствием достаточных аппаратно-вычислительных ресурсов для индивидуального обеспечения обучающихся. В то же время, применение обычных компьютеров/моноблоков и оборудования повышает требование к площади помещений.

В работах, охватывающих данную тематику, можно выделить два основных направления. Первая группа работ посвящена исследованиям возможности использования различных программных средств в проведении практических занятий по указанным дисциплинам. Так, в работе [11] приводятся результаты применения платформы Edmodo в преподавании дисциплин, среди которых «Операционные системы». Отмечается рост эффективности усвоения. В работе [12] ввиду обозначенных выше ограничений рассматривается способ изучения операционных систем посредством программного инструментария, в частности, указывается веб-сайт, который имитирует операционную систему Ubuntu. В [13] описывается решение проблем преподавания курса «Компьютерные сети» в вузе, связанных с теми же ограничениями, что обозначены в данной работе. Как отмечено, положительных результатов удалось достигнуть благодаря применению специально разработанной облачной платформы. В работе [14] также отмечается необходимость использования наглядного инструментария для лучшего усвоения данной дисциплины и трудности, связанные с персональным обеспечением сетевым оборудованием. В связи с чем там подробнее рассматриваются программные средства моделирования сетей, программы-симуляторы сетей, в частности, такое популярное программное обеспечение, как Cisco Packet Tracer.

Второе направление исследований в данной области обращено к возможности применения дополнительного или альтернативного оборудования для организации практикумов по ресурсоемким дисциплинам. И здесь в первую очередь нужно отметить большую роль одноплатных миникомпьютеров типа Raspberry Pi, а также программно-аппаратных систем типа Arduino. Поскольку в большинстве источников второй группы результаты основаны на применении Raspberry Pi, приведем краткое описание и примеры использования этого компьютера.

Raspberry Pi – это давно завоевавший популярность одноплатный компьютер на базе процессора ARM, особенностями которого являются:

* небольшие форм-фактор и вес, что дает хорошую транспортируемость и экономит пространство как при хранении, так и при эксплуатации;
* относительная дешевизна (стоимость модели 3B+составляет 35 долларов США);
* технические характеристики, обеспечивающие возможность выполнения большинства учебных задач по указанным дисциплинам;
* наличие встроенных интерфейсов и разъемов для комплектации дополнительными устройствами. Многие модели Raspberry Pi снабжены интерфейсами RCA, HDMI, USB, MicroUSB, GPIO, поддерживают WiFi и Bluetooth;
* возможность создания или приобретения модулей и плат расширения, предоставляющих новые пути разработчикам: платы с более мощными видео- и звукоадаптерами; поддержкой видеокамер и других периферийных устройств; платы с блоками питания, обеспечивающими портативность устройства; платы расширения типа Arduino, обеспечивающие широкие возможности конструирования и робототехники;
* доступность различных, в том числе «облегченных», ОС, загружаемых с ISO-образа, делает устройство незаменимым в обучающих, исследовательских, экспериментальных целях;
* являясь полноценным компьютером с поддержкой многих популярных ОС, Raspberry Pi позволяет создавать разноплановое ПО;
* возможность практически мгновенно сменить операционную систему. Запоминающее устройство проедставляет собой карту памяти micro SD. Несмотря на более низкий показатель отказоустойчивости по сравнению с обычными жескими дисками такая особенность оказывается полезной при риске выхода из строя операционной системы, а также при необходимости быстро ее сменить на другую.

Последние на данный момент версии 3B+ и 4B (4-ядерные, ОЗУ до 4 Гб, встроенная сетевая карта, 1000 Мбит/с Ethernet, др.). Более подробное описание технических характеристик и некоторых конфигураций устройств доступно, к примеру, в [15, 16].

Raspberry Pi посвящены появляющиеся в последнее время в большом количестве публикации и издания с тематикой от создания программируемых устройств на основе Raspberry Pi разнообразного назначения до применения его в программировании, информационной безопасности, робототехнике, интернете вещей. Так, в работе [17] предлагается использование кластеров, собранных из данных микрокомпьютеров, для реализации алгоритмов интеллектуального анализа данных, являющейся ресурсоемкой и в то же время популярной IT-отраслью. Здесь на примере реализаций алгоритмов Apriori и кластеризации методом k-средних приводится сравнительный анализ кластеров, на основании чего доказывается эффективность по некоторым параметрам кластера на базе Raspberry Pi. Отметим еще одну работу, в которой описана реализация веб-сервера на базе Raspberry Pi с возможностью репликации и использование его для проведения опросов студентов посредством их мобильных устройств [18]. В работе [19] подробно описывается создание прототипа устройства на основе Raspberry Pi для передачи звука через FM-радиоволны; в качестве одного из применений описывается возможность обучения людей с нарушениями зрения. В [20] разработано веб-приложение с использованием платформы Node.js для удаленного управления объектами системотехники и автоматики. В работе [21] описывается созданная на основе Raspberry Pi и Arduino беспроводная сенсорная сеть, веб-разработка для отображения ее работы, а также приводится пример использования. Работа [22] представляет результаты эксплуатации созданной на основе Raspberry Pi и LED-проектора оптической измерительной системы для восстановления геометрии деталей. В работе [24] приводится набор проектов на базе данного микрокомпьютера, подходящих для разработки школьниками. В книжных изданиях также предлагаются проекты для детей – [24]. Работы [25-27] посвящены разработкам в области Интернета вещей с использованием различных моделей Raspberry Pi. В [28, 29] описывается множество применений Raspberry Pi, в том числе беспроводные проекты на основе Raspberry Pi Zero W. В [30-33] собраны различные проекты с программированием на Python, в том числе на Raspberry Pi Zero W. В [34-37] всесторонне изучается Raspberry Pi, предлагаются проекты, рассматриваются способы расширения возможностей компьютера за счет доступных в большом количестве аппаратных составляющих, а также их разработки.

Отметим также, что существуют другие одноплатные микрокомпьютеры со схожими аппаратными возможностями, также поддерживающие различные сборки и конфигурации [38-40].

Перейдем к рассмотрению работ второго направления – работ, в которых предлагается использование альтернативного аппаратного обеспечения в преподавании определенных дисциплин. Мировой опыт использования в учебном процессе микрокомпьютеров Raspberry Pi отражается в обширном списке публикаций и книжных изданий. Так, в работе [41] предлагается использовать Raspberry Pi в целях преподавания языков программирования C/C++, Java, приводится сравнительный анализ эффективности с использованием обычных компьютеров по различным критериям. Отметим здесь, что ввиду доступности для данного микрокомпьютера Unix-подобных операционных систем, GCC на компьютерах, можно сказать, присутствует «из коробки». К слову, Raspberry Pi был разработан в целях обучения информатике и программированию, в частности ([42]). В работе [43] высказывается аналогичная мысль о возможной эффективности использования одноплатных компьютеров Raspberry Pi в преподавании разделов дисциплин, которые зачастую изучаются в теории за неимением подходящего оборудования. Отметим также, что в [44] были предложены некоторые проекты на основе Raspberry Pi, в том числе по использованию его в преподавании. В [45] анонсируется начало работ по использованию Raspberry Pi в университете для практики по кибербезопасности. Практические исследования, представленные в [46, 47], посвящены еще одной области в программной разработке и преподавании, требующей значительных аппаратных ресурсов (парк компьютеров), с одной стороны, и сопряженной с рутинной работой по организации и настройке оборудования и программного обеспечения, – с другой. В работе [46] речь идет о создании на базе Raspberry Pi вычислительного кластера в целях обучения параллельному программированию, описан процесс сборки кластера. Кроме того, дается пошаговая инструкция по конфигурации на собранном кластере интерфейса для распределенных вычислений Open MPI, настройке доступа по ssh-протоколу. В [47] помимо прочего дана оценка эффективности собранных на основе Raspberry Pi устройств. Отметим, что, по-видимому, первая работа с подробным описанием процесса создания вычислительного кластера из Raspberry Pi – это статья [48], изданная также в академическом журнале [49]. В работе [50] представляются проекты студентов, разработанные в рамках изучения дисциплины «Операционные системы» и выполненные на Raspberry Pi. Отмечается, что подход использования Raspberry Pi результативен в изучении дисциплины и отвечает так называемому процессу более глубокого обучения («deeper laerning»). В [51] Raspberry Pi предлагается для обучения в области Интернета вещей. Работы [39, 40, 52] посвящены использованию устройств, созданных на базе этого компьютера, для обучения в области управления посредством программирования контроллеров. В [40] описано создание платформы, состоящей из платы Arduino и Raspberry Pi с системой REX; в [39] рассказывается также о применении других платформ в университетском образовании (Lego Mindstorm NXT, Arduino, Kinect); в [52] рассказывается в том числе о возможностях применения в этих целях языка Python. В [53] показываются результаты применения Raspberry Pi в обучении в сфере распознавания образов. В [54] рассматривается возможность применения Raspberry Pi в преподавании электротехники и вычислительной техники. Эти дисциплины действительно являются одними из тех, для которых трудно организовать полноценные практические занятия ввиду требования к наличию определенных аппаратных ресурсов.

Описанные особенности Raspberry Pi позволяют практически мгновенно на компьютерах сменять операционную систему, это также и бюджетный вариант обеспечить каждого обучающегося несколькими компьютерами, работающими на разных операционных системах. Такое решение позволит при изучении операционных систем наглядно проводить анализ и сравнение, производить тонкие системные настройки (установка и удаление системы, работа с реестром, манипуляции с дисками и их разделами, работа с загрузочной записью, низкоуровневые операции с дисками); в случае вывода из строя операционной системы или нарушения работы ее отдельных компонентов и режимов восстановление не составляет труда в отличие от машин и сетей, которыми оборудуются обычные компьютерные классы. «Компьютерные сети», в свою очередь, является дисциплиной, приобретающей особое практическое значение ввиду увеличения межсетевого взаимодействия в мире и, соответственно, совершенствующихся кибератак. Современным специалистам в области информационных технологий, в частности, информационной безопасности необходимы такие навыки и знания, как схемы сетей, их настройка, администрирование, работа с периферийными устройствами для организации сетей, тестирование безопасности, разграничение доступа в корпоративных сетях, работа с программными брэндмауэрами. Представленная в настоящей работе технология позволяет организовать именно индивидуальное выполнение всех этих практических работ.

Использование разработанных раздаточных комплектов программно-аппаратных составляющих и микрокомпьютеров Raspberry Pi дает способ недорогостоящего решения обозначенной проблемы – выполненные расчеты представлены в работе. При этом подразумевается обеспечение персонально каждого обучающегося полноценным оборудованием для изучения операционных систем и компьютерных сетей, что является, пожалуй, основным условием эффективного и глубокого приобретения навыков.

Исследование проблематики, указанной выше, побудило авторов к идее коммерциализации результатов описываемого проекта по созданию универсального мобильного компьютерного класса. Согласно общим требованиям конкурсов коммерциализации [55-57] результат научно-технической деятельности определен как продукт, выполнен анализ рынка (по Казахстану) и разработан технологический план. Подготовлен инициативный отчет об имеющимся заделе.

**II Методы**

В разделе дается обоснование работы, выделяется направление решения обозначенной во введении проблемы и подробно описывается процесс его выработки и реализации.

II.1 Исследование и использование программно-аппаратного обеспечения для изучения дисциплин «Компьютерные сети» и «Операционные системы»

«Компьютерные сети» – это дисциплина, включающая изучение теоретических и практических основ применения компьютерных сетей: организацию и процессы передачи данных между компьютерами; подключение ПК к сетям, работу в них; использование аппаратных, программных и информационных ресурсов сетей; работу с сетевыми прикладными программами.

Большую роль в успешном освоении данной области играет приобретение практических навыков. Современные специалисты в области информационных технологий, информационной безопасности должны знать схемы сетей, работать с программным брандмауэром, владеть навыками настройки сетей, должны хорошо понимать принципы администрирования сетей, работать с периферийными устройствами для организации сетей, должны уметь проводить аудит существующей системы безопасности, выбирать, устанавливать и настраивать сетевые технические средства защиты информации. При проведении занятий в «обычных» компьютерных классах в основном не представляется возможным обеспечить настройку сети в реальном времени даже для демонстрации. Как отмечалось, обычно сеть уже сконфигурирована и студенты работают уже с настроенными сетями; по понятным причинам нецелесообразно её разбирать. Либо, что все чаще наблюдается, изучение многих разделов дисциплины проходит посредством каких-либо платформ-симуляторов.

Дисциплина «Операционные системы» включает изучение функций ОС, состав и типы ОС; принципы работы различных ОС; принципы взаимодействия ОС с периферийными устройствами и с пользователем; машинно-зависимые и машинно-независимые свойства ОС. В результате студенты должны уметь использовать средства ОС и сред для обеспечения работы вычислительной техники; устанавливать, настраивать и администрировать различные ОС. Компьютеры с установленными одновременно двумя-тремя системами приходится перезагружать для доступа к определенной системе и невозможно на одной рабочей станции одновременно работать в обеих системах. Применение же виртуальных машин возможно лишь при наличии большого объема ОЗУ и достаточно мощного процессора.

Ввиду указанных причин, а также подходящих технических характеристик и цены микрокомпьютера Raspberry Pi целесообразно использование его в качестве альтернативного оборудования и создания универсального компьютерного класса на его основе.

Анализ видов и необходимого количества оборудования, а также создание примерного сценария проведения занятий позволили разработать на взгляд авторов оптимальные по составу базовые раздаточные индивидуальные наборы для каждой из дисциплин – таблица 1. Также разработан расширенный комплект, включающий программно-аппаратные составляющие для выполнения разнообразных практических заданий по предметам. Отметим возможность комплектования дополнительным сетевым оборудованием типа трансиверов, повторителей, концентраторов, мостов.

Таблица 1. Перечень аппаратно-программных составляющих раздаточных индивидуальных наборов по дисциплинам «Компьютерные сети» и «Операционные системы»

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Базовый аппаратно-программный состав раздаточных индивидуальных наборов по дисциплинам «Компьютерные сети», «Операционные системы»**  *Данная комплектация подразумевает наличие необходимого количества мониторов (HDMI или VGA с соответствующим адаптером), USB-клавиатур и USB-компьютерных мышей* | | |
| **Наименование оборудования** | **Дисциплина** | |
| «Компьютерные сети» | «Операционные системы» |
| Миникомпьютеры Raspberry Pi 3B+ | 2-3 шт. | 2-3 шт. |
| адаптер(ы) питания (блок(и) питания Raspberry Pi 3В+ от бытовой сети 220 В) | 2-3 шт. | 1-3 шт. |
| microSD с предустановленным рабочим окружением для каждого компьютера: ОС, сетевые и прочие необходимые приложения, учебные материалы (учебная литература, методические указания к практическим и лабораторным занятиям) | 2-3 шт. | 2-4 шт. |
| Коммуникационное оборудование:  сетевые кабели для различных видов соединений (кабель USB, коммутационный кабель RJ45 для подключения компьютера к локальной компьютерной сети и др.) | + | не обязательно |
| **Расширенный состав раздаточных индивидуальных наборов**  *В минимальный состав, описанный выше, можно включить следующее оборудование, что обеспечивает полную мобильность «компьютерного класса» в плане аппаратного обеспечения* | | |
| Дополнительное оборудование:  - HDMI-дисплеи с небольшой диагональю экрана (существуют весьма бюджетные варианты),  - мини USB- или Bluetooth-клавиатура,  - USB-мышь | | |

**Замечание.** *Для проведения разнообразных занятий по дисциплине «Компьютерные сети» обучающей организации желательно также иметь дополнительное коммуникационное оборудование. Наименование, назначение и необходимое количество оборудования приведено в таблице 2. Для самостоятельно организованной сети обучающиеся могут подключать и настраивать модем и Интернет в своих компьютерах (из своего раздаточного набора). Далее, объединившись в группы по 3-5 человек, обучающиеся могут организовывать локальные подсети и, используя промежуточное локальное оборудование, настраивать и подключать свою сеть в общую сеть и Интернет.*

Таблица 2. Оборудование и рекомендации для организации дополнительных практических занятий по дисциплине «Компьютерные сети»

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Наименование оборудования** | **Назначение** | **Количество и замечания** |
| Модем | Для выхода в глобальную сеть (Интернет) | 1 |
| Маршрутизатор (Router) | Для объединения подсетей и централизованного доступа к Интернету | 1 |
| Сетевой коммутатор (Switch) 5- или 8-портовый  (по количеству хостов в подсети) | Для организации и настройки локальных подсетей | 3-5  по этому количеству можно создать подгруппы обучающихся с собственной подсетью для дополнительных практических заданий |
| Сетевые кабели |  | С соответствующими оборудованию спецификациями |

II.2 Определение состава наборов для изучения дисциплин «Компьютерные сети» и «Операционные системы»

В таблице 1 приведены варианты программно-аппаратной комплектации индивидуальных учебных наборов, предназначенных для изучения дисциплин «Компьютерные сети» и «Операционные системы» с помощью микрокомпьютера Raspberry Pi.

Относительно расширенного состава наборов скажем, что ввиду наличия у Raspberry Pi HDMI-интерфейса, а также наличия на рынке HDMI-VGA и прочих подобных переходников-адаптеров, для данного микрокомпьютера доступно все множество мониторов (с диагональю дисплеев от 2,2 дюймов до достаточно больших экранов, в том числе сенсорных, с различными вариациями разрешений, с различными типами подключения и скоростью отклика); в проекте для создания пробного опытного образца использован весьма малобюджетный компактный монитор – рисунок 1. Ясно также, что применимы практически все виды клавиатур и компьютерных мышей, в том числе Bluetooth.

Для проведения занятий по данным дисциплинам с использованием представленных наборов требуется стандартный кабинет-аудитория (не компьютерный класс!) с посадочными местами, оборудованный точками электропитания. В таблице 3 приведена часть выполненных авторами финансовых расчетов стоимости оборудования, составляющего раздаточные наборы, его габариты и вес, без учета интеллектуальной составляющей (ПО на MicroSD, инструкции, методические указания).



Рисунок 1. Raspberry Pi с различными дисплеями

Таблица 3. Приблизительная стоимость, размеры и вес оборудования из состава единицы индивидуального раздаточного набора

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Наименование оборудования** | **Стоимость (долл. США)** | **Размеры (см) и вес** |
| 1 | Кейс (в зависимости от того, разработан ли и произведен по заказу, либо это приспособленная упаковка от какого-либо товара массового производства) | 2,5-10 | 200×250×100  0,2 кг. |
| 2 | Миникомпьютеры Raspberry Pi 3B+ (2-3 шт.) | 35  (2 или 3) | 85,6×53,98×17  0,045 кг.  (2 или 3) |
| 3 | адаптеры питания (блоки питания Raspberry Pi 3В+ от бытовой сети 220 В) | 4,5  (2 или 3) | 8×3×4  0,1 кг.  (2 или 3) |
| 4 | microSD | 15  (2, 3 или 4) |  |
| 5 | Мини USB-клавиатура | 4,5 | 20×14×1  0,02 кг. |
| 6 | USB-мышь | 2,7 | 10×3,5×6  0,08 кг. |
| 7 | Сетевые кабели (Ethernet кабель, 1 Гбит) | 1  (2 или 3) | 0,05 кг. |
| 8 | (Цифро-аналоговый преобразователь HDMI-VGA) | 3,5 | 5×5×1,6  0,04 |
|  | ИТОГО: | 124,2-202,2 | 0,68-0,825 кг. |

II.3 Создание загрузочного файла и рабочего окружения

Миникомпьютеры Raspberry Pi работают с загрузочного диска на microSD (с образом операционной системы). Возможна загрузка с USB-носителя, а также по сети. Упоминавшиеся в работе выше microSD «с предустановленным рабочим окружением» представляют собой загрузочный диск с определенной необходимым образом настроенной ОС, установленным и настроенным необходимым ПО, записанным учебным материалом, настроенным рабочим каталогом. Разработана возможность загрузки этого рабочего окружения в виде архива, после распаковки которого сразу получается рабочий microSD. Использование этого архива – загрузочного файла – избавляет пользователей от поиска необходимых образов ОС, использования или даже написания зачастую при этом необходимых скриптов, поиска и установки программ для создания загрузочных дисков, исправления нередко возникающих при этом ошибок.

Так, в состав индивидуальных раздаточных наборов для изучения дисциплины «Операционные системы» могут входить три microSD с операционными системами Windows 10 IoT, FreeBSD, Ubuntu (доступны также загрузочные файлы с Fedora, Ubuntu Server и Kali Linux). Windows-образы уже содержат файловые менеджеры, утилиты управления процессами, службами, автозапуском.

Создан скрипт, выполняющий следующие действия при каждом запуске:

* запуск интерпретатора командной строки с удобными для работы параметрами и настройками, в том числе шрифтов для корректного отображения русского и казахского языков (по умолчанию командная строка Windows не настроена на TrueType шрифт, поддерживающий кодировку Unicode) или, в случае с Unix/Linux, терминала;
* необходимые проверочные системные команды (ip config/if config и др.) с выводом в файл;
* переход в рабочий каталог;
* запуск файлового менеджера (Far/mc), некоторых утилит.

Для изучения дисциплины «Компьютерные сети» раздаточные наборы также снабжаются картами microSD с различными настроенными ОС, предустановленным ПО (в том числе Nmap, Wireshark, PuTTY, WinSCP) и учебными материалами. Также создан скрипт, выполняющий помимо вышеописанных действий следующие:

* запуск некоторых команд сетевых приложений;
* проверку настроек межсетевого экрана.

II.4. Инструкции и методические указания

Разработаны памятка с перечнем содержимого, макет инструкции по комплектации наборов и эксплуатации Raspberry Pi и другого оборудования, а также методические указания и рекомендации по проведению занятий по соответствующей дисциплине с использованием данного набора и примерами заданий.

Инструкция включает сведения о назначении оборудования в наборах и условиях его эффективной и безопасной эксплуатации, характеристики и спецификации комплектующих, видах и способах безопасных соединений.

В методических указаниях описан порядок действий для составления и запуска возможных аппаратных конфигураций согласно изучаемым дисциплинам (что может быть проведено на первом практическом (лабораторном) занятии). Также дан примерный перечень практических заданий и указаний к их выполнению. Отметим имеющуюся возможность модификации и разработки новых заданий. В частности, для дисциплины «Компьютерные сети» описаны программный инструментарий и возможности его использования для настройки сети и каталогов общего доступа, межсетевого экрана и т. п. Уделено внимание вопросу тестирования сетей на безопасность посредством утилит дистрибутива Kali Linux.

Кейсы с наборами предполагается нумеровать, снабжать памяткой по комплектованию в зависимости от вида дисциплины и раздавать на занятиях соответственно данной информации и номерам (дополнительные условия использования описываются в прилагаемой инструкции).

II.5 Вопросы коммерциализации.

Идея и обоснование. Целью подпроекта является разработка, производство, внедрение и анализ аспектов использования в учебном процессе описанных в настоящей работе наборов программно-аппаратного оборудования и соответствующей документации для изучения дисциплин «Операционные системы» и «Компьютерные сети», а также разработка методического пособия по ведению дисциплин с использованием этих наборов.

В основе идеи лежит использование микрокомпьютера Raspberry Pi с определенным ПО, в том числе специально разработанным для данного проекта. Целесообразность реализации и коммерциализации данного проекта обусловлена преимуществами этого компьютера; вкупе с проведенными бизнес-исследованиями они являются, к тому же, основаниями для ожидания его эффективности и результативности.

Степень готовности проекта по коммерциализации. Перечислим выполненные на данный момент виды работ:

* выполнен обзор и анализ одноплатных микрокомпьютеров из той же ценовой категории, со схожими аппаратными возможностями, также поддерживающих различные сборки и конфигурации;
* выполнен предварительный анализ целевого рынка;
* рассмотрены технические вопросы эксплуатации и износоустойчивости Raspberry Pi;
* исследованы вопросы оформления как коммерческого продукта разработанных раздаточных наборов и технологии их использования;
* собраны опытные образцы программно-аппаратных устройств на основе Raspberry Pi для изучения дисциплин «Компьютерные сети», «Операционные системы»
  + создан загрузочный файл операционной системы с настроенным рабочим окружением;
  + разработаны проекты документации: памятка по содержанию, эксплуатации и обслуживанию данного мобильного компьютерного класса; инструкция по использованию программно-аппаратного обеспечения в наборах, способах подключения и соединений с описанием характеристик комплектующих;
  + разработана часть методических указаний к практикуму по указанным дисциплинам с использованием предлагаемых в проекте наборов инструментария;
* выполнены предварительные расчеты стоимости данного производства;
* выделены некоторые бизнес‑риски, даны оценки окупаемости затрат на производство и внедрение;
* разработан технологический план реализации подпроекта;
* подготовлен инициативный отчет об имеющемся заделе:
  + рассмотрены примеры использования проектов и приложений, реализованных на основе Raspberry Pi [58];
  + выполнен обзор и анализ источников, посвященных Raspberry Pi [59];
  + рассмотрены возможности увеличения производительности и расширения области использования микрокомпьютера: комплектующие, периферийные устройства, дополнительные модули.
  + описаны идеи и частично реализованы исследовательские проекты на основе моделей Raspberry Pi 3 Model B и Raspberry Pi Zero. Собран и функционирует опытный образец программно-аппаратного устройства ([44, 60]).
    - в рамках одного из проектов устройство частично внедрено в образовательный процесс по дисциплинам, требующим установленного и настроенного комплекса специфического ПО (к примеру, криптография и криптоанализ);
    - в рамках еще одного проекта устройство предлагается использовать как портативный сканер безопасности компьютерных сетей.

В таблице 4 приведена информация о количестве учебных заведений, действующих на текущий момент в Республике Казахстан, и обучающегося контингента согласно открытым базам данных официальных источников (данные Комитета по статистике – [61]).

Таблица 4. Учебные заведения на начало 2019/2020 учебного года в Республике Казахстан

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Вид учебных заведений** | **Количество учебных заведений** | **Количество обучающихся** |
| 1 | Общеобразовательные школы | 7393 | 3186234 |
| 2 | Организаций технического и профессионального, послесреднего образования | 769 | 475443 |
| 3 | Высшие учебные заведения с учетом филиалов | 124 | 604345 |
| 4 | Коммерческие образовательные организации малого и среднего бизнеса, учебные центры | 119 | 1450 |
|  | **Всего:** | **8405** | **4267472** |

В таблице 5 дан список потенциальных пользователей многопрофильного компьютерного класса на основе Raspberry Pi.

Таблица 5. Целевая аудитория «Многопрофильного компьютерного класса на основе Raspberry Pi»

|  |  |
| --- | --- |
| **Потенциальные пользователи** | **Цели использования** |
| Высшие учебные заведения | Преподавание различных дисциплин, организация кружков |
| Средние и средне-специальные учебные заведения | Преподавание различных дисциплин, проведение кружков и факультативных занятий |
| Научно-исследовательские организации | Проведение исследовательских работ |
| Организации тестирования | Проведение среза знаний |
| Коммерческие образовательные организации, учебные центры | Организация и проведение курсов по различным дисциплинам |

В ходе исследования и сегментации рынка потребителей, проведенных на основе проанализированных статистических данных (таких как в таблицах 4, 5 и других), получены оценки фактического числа потребителей с учетом влияния различных факторов.

Выделены основные этапы реализации проекта и оформлены в календарном плане, выполнены расчеты необходимых ресурсов (финансовая, материально-техническая база). В таблице 6 дано описание этапов реализации проекта.

Таблица 6. Основные этапы реализации проекта

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№ этапа** | **Наименование этапа** | ***Сроки реализации этапа*** |
| 1 | Подбор и приобретение необходимых аппаратных составляющих | 3 мес. |
| 2 | Программно-аппаратная сборка, отладка, оптимизация:  - сборка аппаратов и отладка работы интерфейсов, дисплеев и других периферийных устройств, а также оптимизация;  - установка и отладка разных ОС, а также оптимизация загрузки и работы | 3 мес. |
| 3 | Доработка и тестирование рабочего окружения для дисциплин «Операционные системы» и «Компьютерные сети» (таблица 2):  - настроенные средства администрирования;  - служебные программы;  - специализированная электронная библиотека с рекомендованными источниками | 5 мес. |
| 4 | Создание в виде архивов загрузочных дисков:  - разработка необходимых скриптов;  - разработка скриптов создания рабочих microSD (автоматизированный запуск операционной системы с настроенным рабочим окружением и штатная работа) и тестирование;  - разработка возможности использования загрузочного диска в виде архива;  - документирование процедуры использования загрузочного диска и реализация онлайн-поддержки;  - запись и настройка необходимого окружения, созданного в п.3 | 5 мес. |
| 5 | Разработка методического пособия по дисциплинам «Операционные системы» и «Компьютерные сети» с использованием данного набора | 4 мес. |
| 6 | Формирование индивидуальных раздаточных учебных/рабочих наборов, создание и оформление кейса для индивидуального раздаточного набора:  1) дизайн кейса-упаковки;  2) документация на 3-х языках:  - описание комплекта;  - инструкция по эксплуатации;  - технические характеристики;  3) Комплектация аппаратными составляющими в зависимости от дисциплины (компьютеры, внешние устройства и коммутационное оборудование, microSD, документация) | 4 мес. |
| 7 | Подготовка и получение патентов | 4 мес. |
| 8 | Внедрение в производство и распространение продукта на казахстанском рынке и за рубежом.  Рекламно-маркетинговые работы:  - набор и обучение сотрудников для распространения продуктов;  - обучение, мастер-классы, ознакомительные семинары;  - организация видеоканала и онлайн-ресурса с поддержкой;  - рекламная деятельность | 8 мес. |

Отметим, что этот проект (коммерциализация) не запущен, а лишь только предлагается для реализации. Основное условие конкурсов коммерциализации, являющееся гарантирующим фактором успешной реализации проектов – вовлечение бизнес-организаций в качестве бизнес-партнеров в этапы производства и внедрения продуктов (выработанных на основе полученных ранее результатов научной и научно-технической деятельности). Отсутствие опыта в подобной деятельности является одной из причин того, что в этой, по-существу, важнейшей практической части проекта на данный момент лишь изучаются алгоритмы и методика выявления и привлечения потенциально заинтересованных бизнес-партнеров.

Отметим необходимость в более детальном анализе рынка и пересмотре, обусловленном актуальностью дат, непосредственно перед коммерциализацией; в практической детализации прогнозов и расчетов; в представлении и презентации проекта в бизнес-терминах; в разработке методики и алгоритмов привлечения бизнес-партнеров и соответствующего регулирующего пакета документов.

**III Результаты**

Результаты данной работы можно разделить на два вида. Первый – результаты, полученные по проекту «Многопрофильный мобильный компьютерный класс на основе Raspberry Pi». Перечень составляющих наборов и разработанных рекомендаций по проведению занятий, представленный в таблице 1, составляет «Многопрофильный мобильный компьютерный класс на основе Raspberry Pi». На ресурсе [16] представлены некоторые фото по проекту, в том числе кейса с содержимым одного из вариантов раздаточного набора – прототипа промышленного образца. В таблице 7 дано описание одной единицы набора.

Таблица 7. Единица индивидуального раздаточного набора

|  |
| --- |
| Кейс с с наклейкой на внешней поверхности с необходимой информацией и номером |
| Содержимое согласно одному из вариантов таблицы 2 |
| Памятка с перечнем содержимого |
| Инструкция по эксплуатации |
| Методические указания по проведению занятий по одной из дисциплин с использованием данного набора и примерами заданий |

Созданный архив (загрузочный файл) для каждой из дисциплин, описанный в разделе II.3, будет полезен не только в целях преподавания, но вообще в широких целях, в том числе и разработчикам. Загрузочный файл, а также разработанные инструкции, входящие в состав представленных раздаточных наборов, доступны также онлайн ([16]).

Второй вид составляют результаты, полученные в рамках деятельности по коммерциализации результатов первого вида. Проект не подавался для участия в конкурсе коммерциализации ввиду причин, указанных в разделе II.5. Тем не менее, на данный момент многие принципиальные трудоемкие работы по подготовке к коммерциализации проекта, представленного в разделах II.1-II.4 данной статьи, выполнены. Выполнены анализ рынка, технологический план, оценка рисков, прогноз эффективности – с ориентиром преимущественно на Казахстан. Выделен результат научно-технической деятельности, предлагаемый для коммерциализации. Разработанный опытный образец «Многопрофильный мобильный компьютерный класс на основе микрокомпьютера Raspberry Pi» представляет собой комплект программно-аппаратных средств для изучения дисциплин «Компьютерные сети» и «Операционные системы». Для коммерциализации предлагаются наборы программно-аппаратного оборудования с соответствующей документацией для изучения дисциплин «Операционные системы» и «Компьютерные сети», а также разработанное методическое пособие по ведению дисциплин с использованием этих наборов.

Описанные учебные наборы как продукт подходят для реализации как в учебных заведениях, так и в коммерческих организациях для проведения учебных курсов.

Согласно полученным результатам можно говорить о целесообразности запуска производства, прогнозировать положительный коммерческий эффект.

**IV Обсуждения**

Изучение дисциплины «Компьютерные сети» с помощью микрокомпьютеров Raspberry Pi позволит обеспечить каждого обучающегося всем необходимым для создания, администрирования сетей и выполнения специфических задач. Как уже отмечалось, эти микрокомпьютеры имеют встроенную сетевую карту. Студенты смогут приобрести такие навыки и знания, как схемы построения сетей, сетевое администрирование и настройка сетей; работа с программными брандмауэрами и с периферийными устройствами для организации сетей; тестирование безопасности; выбор, установка, настройка и сопровождение технических средств защиты информации.

С помощью использования раздаточных наборов на занятиях по дисциплине «Операционные системы» можно быстро «установить» (просто вставив нужную карту MicroSD) нужную операционную систему, «переустановить», сменить ОС; работать с разными ОС одновременно на разных устройствах индивидуально; манипулировать с дисками и их разделами; выполнять системные настройки; устанавливать драйвера устройств и нужное ПО; диагностировать ОС. Эти и другие возможные операции могут быть, вообще-то, небезопасны для стационарных ПК с традиционно установленной операционной системой в смысле риска нарушить штатную работу системы и загрузчика. С использованием Raspberry Pi для «установки» и «перезагрузки» ОС достаточно просто заменить карту MicroSD другой из набора либо скачать на MicroSD копию загрузочного диска с сайта поддержки. Отметим, что загрузочный диск выполнен в виде архива, то есть не требуется применения никакого дополнительного ПО, обычно используемого для создания загрузочных дисков из файлов образов.

Таким образом, применение разработанных раздаточных комплектов позволит обеспечить каждого обучающегося машинами по количеству изучаемых ОС, а также в количестве, достаточном для построения и конфигурации сетей различной топологии.

В работе определены форм-фактор и вес раздаточных наборов. Наборы не требуют для хранения специально оборудованных помещений, их перенос не трудоемок ввиду небольших габаритов и веса, в связи с чем отметим правомочность использования слова «мобильный» в названии работы и проекта.

Данная технология использования наборов и методических указаний к их применению в преподавании дает возможность обеспечить каждого обучающегося необходимым оборудованием и поддержкой для приобретения практических навыков, что особенно проблематично в силу уже названных в п. I.1 причин именно по таким дисциплинам. Эти специфические технические трудности и побудили предложить технологию в первую очередь именно для преподавания дисциплин «Компьютерные сети» и «Операционные системы», а также для коммерциализации. Перед авторами стоит задача прохождения формальной процедуры внедрения в учебный процесс в вузе наборов с Raspberry Pi, разработанных в рамках представляемого в работе проекта.

Как уже отмечалось, из таких же соображений в работе [41] предлагается использовать Raspberry Pi в целях преподавания языков программирования C/C++, Java. Дополним, что производительность Raspberry Pi (к примеру, модели 3B) позволяет писать и отлаживать на Python программы с графическим интерфейсом с применением библиотеки PyQt без каких-либо видимых задержек в работе – [58], [30-33]. Сказанное означает, что необходимый инструментарий для программирования на bash ([60, 15]), C/C++, Fortran, Python, Java и других языках на Raspberry Pi доступен, а уровень производительности для обучения программированию достаточен. В работах [43, 45] описывается использование Raspberry Pi в преподавании некоторых дисциплин; к примеру, в [45] говорится об опыте преподавания в области информационной безопасности. Так, авторами настоящей работы устройство на основе Raspberry Pi успешно применялось, к примеру, на практикуме по криптографии и криптоанализу, где требуется предустановленное специализированное программное обеспечение (компиляторы, библиотеки, программные реализации и т. п.) – [44]. Отметим, что в [44] описаны проекты, подобные [45, 46], [54]. Подобно [46] в [15, 16] также дано пошаговое описание сборки в headless-режиме мобильного устройства с дисплеем, установки и настройки программного обеспечения; приведены соответствующие практические рекомендации. Для этого авторами создан скрипт myservice (доступный по ссылке [16]), который нужно поместить в каталог /etc/init.d и сделать его исполняемым, затем создать символическую ссылку на этот скрипт в каталоге /etc/rc2.d. Отметим здесь, что наиболее полезные и действенные рекомендации и пример настройки TFT-дисплеев для Raspberry Pi с операционной системой Raspbian, приведены в статье [62]. Однако там не приводятся решения для многих проблем, возникающих при настройке экрана; к примеру, для обеспечения более быстрой загрузки. Назначение статического IP можно найти в разделе «Setting a Static IP» ресурса [63]; отметим, однако, что статический IP увеличивает время загрузки системы примерно на 2 минуты. Наконец, отметим весьма полезный раздел «By The Way: Modifying Headless Raspberry Pi Boot Sequence» ресурса [63] для решения проблем с запуском ssh. Однако, стоит отметить, что в [46] работа выполнена для целого кластера, а не для одиночного компьютера, как в [15, 16].

В работе подробно описаны разработки на основе Raspberry Pi для преподавания двух дисциплин с точки зрения организации эффективных практикумов. В связи с чем практически не рассматривалась такая важная компонента популярности этих микрокомпьютеров – непрерывно появляющиеся дополнительные модули, аппаратные интерфейсы и их спецификации ([28, 36, 37, 64, 65]), делающие его удобным и гибким инструментом в реализации различных проектов.

Предлагаемые в проекте РННТД являются новыми в плане того, что набор для изучения дисциплины «Операционные системы» дает альтернативный и бюджетный вариант обеспечить каждого обучающегося несколькими компьютерами, работающими на разных ОС. Разработанный индивидуальный раздаточный набор для изучения дисциплины «Компьютерные сети» позволяет обеспечить каждого обучающегося всем необходимым для получения практических навыков – создания, администрирования сетей и выполнения специфических задач. Авторами разработана часть программного комплекса для оптимизации использования Raspberry Pi в обозначенных целях, разработан коммерческий продукт и сопутствующая документация. Наконец, в Казахстане не коммерциализованы результаты в данной области.

**V Заключение**

По результатам проведенных к данному моменту исследований можно утверждать, что идея и выполненные разработки демонстрируют объективные возможности их применения в обозначенных целях, при этом бизнес-риски прогнозируемы, контролируемы, причем ко многим из них применимы превентивные меры. С точки зрения результативности обучения с использованием предлагаемого набора и методических указаний стоит ожидать высокой степени усваиваемости и приобретения устойчивых навыков ввиду глубокой степени вовлеченности, наличии действительно практических упражнений, а также «свободы» экспериментировать без риска нанести ощутимый вред оборудованию и программному обеспечению. А с учетом бюджетности данного учебного набора, не требующего также специального постоянного помещения и условий хранения, считаем этот проект хорошей возможностью обеспечить инструментарием для практических занятий всех обучающихся, что в значительной степени, если не полностью, перекрывает возможные недостатки. Кроме того, отметим практическую полезность всех аппаратно-программных составляющих самих по себе, значительные сроки эксплуатации, наличие множества областей их применения.

Авторами ведутся работы по смежным проектам на основе Raspberry Pi, результаты которых также частично или полностью коммерциализуемы ([44, 60]):

- «Портативное автоматизированное рабочее место специалиста по сетевой безопасности с поддержкой принятия решений» с использованием утилит дистрибутива Kali Linux и авторских разработок, с дисплеем небольшого размера, обеспечивающим портативность.

- «Портативная учебно-исследовательская лаборатория» для проведения исследований и практических работ по дисциплинам, требующим специализированного рабочего окружения, создание которого как правило рутинно и занимает много времени (сборка, отладка, установка ПО). Это могут быть такие направления, как параллельное программирование, криптография, криптоанализ, научные вычисления, системное администрирование и многие другие.

- «Аппаратно-программное устройство с защищенной как на аппаратном уровне, так и с помощью программных средств системой проверки знаний».

- «Аппаратно-программное устройство с защищенной как на аппаратном уровне, так и с помощью программных средств системой передачи данных».

- Проект «WEB-платформа для полной автоматизации организации и сопровождения деловых мероприятий и информационно-аналитических услуг» [66].

**Список литературы:**

[1] Mitchell A65 Computer Teaching Lab, 2020. https://pangea.stanford.edu/r25/ma65/calendar (accessed 07.03.2020).

[2] Mitchell A-65 Computer Teaching Lab, Computers, 2020. <https://a65lab.stanford.edu/equipment/computers> (accessed 07.03.2020).

[3] Stanford libraries. Lathrop Library. https://library.stanford.edu/libraries/lathrop/24-hour-study-room The 24-hour study room has dual-boot Mac/Windows computers (accessed 07.03.2020).

[4] Electrical Engineering & Computer Science, 2019. <http://kb.mit.edu/confluence/pages/viewpage.action?pageId=58984274>; <https://www.eecs.mit.edu/node/4920>; <https://www.eecs.mit.edu/academics-admissions/academic-information/subject-updates-fall-2019/6s083>; <https://www.eecs.mit.edu/resources/ecf-educational-computing-facility> (accessed 07.03.2020).

[5] Harvard University, 2019. <https://cls.iq.harvard.edu/> различные классы; <https://lab.dce.harvard.edu/web/labs/> другие классы (accessed 07.03.2020).

[6] Classroom and Computer Lab Locations, 2020. <https://www.cmu.edu/computing/services/teach-learn/tes/locations.html> (accessed 06.03.2020).

[7] Garnegie Mellon University. Computing Services, Morewood Gardens (MOR), 2020. https://www.cmu.edu/computing/services/teach-learn/tes/computer-labs/locations/morewood-labs.html (accessed 06.03.2020).

[8] Garnegie Mellon University. Computing Services, Residence on Fifth (ROF), 2020. https://www.cmu.edu/computing/services/teach-learn/tes/computer-labs/locations/residence-fifth-labs.html (accessed 06.03.2020).

[9] Garnegie Mellon University. Computing Services, Cyert Hall (CH), 2020. https://www.cmu.edu/computing/services/teach-learn/tes/computer-labs/locations/cyert-labs.html (accessed 06.03.2020).

[10] Garnegie Mellon University. Computing Services, Hunt Library (HL), 2020. https://www.cmu.edu/computing/services/teach-learn/tes/computer-labs/locations/hunt-labs.html (accessed 06.03.2020).

[11] Ryane. A Case Study of Using Edmodo to Enhance Computer Science Learning for Engineering Students Imane Ryane, Nour-eddine El faddouli Vol 15, No 03 (2020) International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET), p/ 62-73.

[12] Garmpis, Aristogiannis & Gouvatsos, Nicolaos. (2012). Innovative teaching methods in Operating Systems: The Linux case. 10.13140/2.1.1611.4888.

[13] Yang. A Comprehensive Teaching Reform Model for a Computer Networks Course Based on Integrated Information Systems Jingmin Yang, Trong-Yen Lee, Baoxing Chen, Wenjie Zhang Vol 14, No 18 (2019), p. 76-91

[14] Maniasami. Student’s Performance Assessment and Learning Skill towards Wireless Network Simulation Tool – Cisco Packet Tracer Vasanthi Muniasamy, Intisar Magboul Ejlani, M. Anadhavalli Vol 14, No 07 (2019) p. 196-208

[15] Оспанова А. Б., Сагиндыков Х. М., Тулеуов Б. И., Жаркимбекова А.Т. Микрокомпьютер Raspberry Pi (3 model B) и практические перспективы его использования // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (Апино 2018) / VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция / Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Санкт-Петербург, 2018. – С. 324-329

[16] Ref\_my – Projects-enu.ademi.online/rpi

[17] Saffran J. et al. 2017. A Low-Cost Energy-Efficient Raspberry Pi Cluster for Data Mining Algorithms. In Euro-Par 2016: Parallel Processing Workshops, Desprez F. et al (Ed.). Lecture Notes in Computer Science, Vol. 10104. Springer-Verlag. https: //doi.org/10.1007/978-3-319-58943-5\_63

[18] Rodríguez, R. A., Cammarano, P., Giulianelli, D. A., Vera, P. M., Trigueros, A., & Albornoz, L. J. (2018). Using Raspberry Pi to Create a Solution for Accessing Educative Questionnaires From Mobile Devices. IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje, 13(4), 144-151.

[19] da Fontoura Haeser, E., & Miletto, E. M. (2017, November). Development of the Gambiarrádio educational prototype: Device for transmitting audio via FM radio waves based on Raspberry Pi. In 2017 International Symposium on Computers in Education (SIIE) (pp. 1-6). IEEE.

20 Bermudez-Ortega J., Besada-Portas E., Lopez-Orozco J. A., Bonache-Seco J. A., De la Cruz J. M. Remote Web-based Control Laboratory for Mobile Devices based on EJsS, Raspberry Pi and Node.js // IFAC-Papers OnLine – 2015. – Т. 48. № 29. – С. 158-163.

21 Ferdoush Sh., Li X. Wireless Sensor Network System Design using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications // The 9 th Int. Conf. on Future Networks and Communications (FNC-2014). Procedia Computer Science. – 2014. – Т. 34. – С. 103-110.

22 Schlobohm J., Pösch A., Reithmeier E. A Raspberry Pi Based Portable Endoscopic 3D Measurement System // Electronics. – 2016. Т. 5. № 43. – С. 56-62.

23 Oliver Quinlan, Samantha Baloro. Raspberry Pi computers in schools. Raspberry Pi Foundation Research No. 5. Published in August 2018 by the Raspberry Pi Foundation.

24 Bates D. Raspberry Pi Projects for Kids. 2nd ed. – Birmingham-Mumbai, Packt, 2015.

25 Schwartz M. Building Smart Homes with Raspberry Pi Zero. – Birmingham-Mumbai, Packt, 2016.

26 Петин В. А. Arduino и Raspberry Pi в проектах Intemet of Тhings. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016.

27 Chin S., Weaver J. Raspberry Pi with Java. Programming the Internet of Things (IoT) – Birmingham-Mumbai, Packt, 2016.

28 Soper M. E. Expanding Your Raspberry Pi: Storage, printing, peripherals, and network connections for your Raspberry Pi. – Indianapolis (Indiana, USA), Apress, 2017.

29 Tzivaras V. Raspberry Pi Zero W Wireless Projects. – Birmingham-Mumbai, Packt Publishing, 2017.

30 Norbom H. Raspberry Pi Python Projects. – Python3 and Tkinter, 2017.

31 Kelly S. Python, PyGame and Raspberry Pi Game Development. – Niagara Falls, Ontario, Canada, Apress, 2016.

32 Yamanoor Sai, Yamanoor Srihari. Python programming with Raspberry Pi Zero. Build small yet powerful robots and automation systems with Raspberry Pi Zero. – Birmingham-Mumbai, Packt, 2017.

33 Donat W. Learn Raspberry Pi Programming with Python. – Niagara Falls, Ontario, Canada, Apress, 2014.

[34] Samarth Shah. Learning Raspberry Pi. Birmingham-Mumbai, Packt, 2015; ISBN 978-1-78398-282-0

35 Python: The No-Nonsense Guide. – Cyberpunk University, 2016.

36 Monk S. Cookbook by Raspberry Pi. – United States of America, O’Reilly, 2016.

37 Gay W. Custom Raspberry Pi Interfaces: Design and build hardware interfaces for the Raspberry Pi. – St Catharines, Ontario, Canada, Apress, 2017.

38 Аналоги Raspberry Pi – URL: https://losst.ru/luchshie-analogi-raspberry-pi (дата обращения 31.01.2020).

39 Irigoyen E., Larzabal E., Priego R. Low-cost platforms used in Control Education: An educational case study //10 th IFAC Symposium Advances in Control Education. The Int. Federation of Automatic Control (August 28-30). – Sheffield, UK, 2013. – С. 256-261.

40 Sobota Ja., Pisl R., Balda P., Schlegel M. Raspberry Pi and Arduino boards in control education // 10th IFAC Symposium Advances in Control Education. The International Federation of Automatic Control (August 28-30). – Sheffield, UK, 2013. – С. 262-269.

[41] David, S. A., Ravikumar, S., & Parveen, A. R. (2018). Raspberry Pi in Computer Science and Engineering Education. In Intelligent Embedded Systems (pp. 11-16). Springer, Singapore.

42 Официальный сайт Raspberry Pi – https://www.raspberrypi.org/

[43] Adams, J. C., Brown, R. A., Kawash, J., Matthews, S. J., & Shoop, E. (2018, February). Leveraging the Raspberry Pi for CS Education. In Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education (pp. 814-815).

[44] Оспанова А.Б., Тулеуов Б.И. Перспективы использования микрокомпьютера Raspberry Pi в эффективной цифровизации Казахстана // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. Серия Математика. Информатика. Механика, №4(125)/2018 – Астана. – С.95-107.

[45] Emani, R., Glantz, E. J., Gamrat, C., & Hills, M. K. (2019, September). Using the Raspberry Pi in IT Education. In Proceedings of the 20th Annual SIG Conference on Information Technology Education (pp. 153-153).

[46] Doucet, K., & Zhang, J. (2019, May). The Creation of a Low-cost Raspberry Pi Cluster for Teaching. In Proceedings of the Western Canadian Conference on Computing Education (pp. 1-5).

[47] Matthews, S. J., Adams, J. C., Brown, R. A., & Shoop, E. (2018, February). Portable parallel computing with the raspberry pi. In Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education (pp. 92-97).

[48] Steps to make Raspberry Pi Supercomputer – <http://www.southampton.ac.uk/~sjc/raspberrypi/pi_supercomputer_southampton_web.pdf>

[49] Simon J. Cox, James T. Cox, Richard P. Boardman, Steven J. Johnston, Mark Scott, Neil S. O'Brien. Iridis-pi: a low-cost, compact demonstration cluster. Cluster Computing, DOI: 10.1007/s10586-013-0282-7

[50] ElAarag, H. (2017). Deeper learning in computer science education using raspberry pi. Journal of Computing Sciences in Colleges, 33(2), 161-170.

[51] Mahmood, S., Palaniappan, S., Hasan, R., Sarker, K. U., Abass, A., & Rajegowda, P. M. (2019, January). Raspberry PI and role of IoT in Education. In 2019 4th MEC International Conference on Big Data And Smart City (ICBDSC) (pp. 1-6). IEEE.

52 Hoyo A., Guzman J. L., Moreno J. C., Berenguel M. Teaching Control Engineering Concepts using Open Source tools on a Raspberry Pi board // IFAC-Papers OnLine – 2015. – Т. 48. № 29. – С. 99-104.

53 Julien Marot, Salah Bourennane. Raspberry Pi for Image Processing Education // 25th European Signal Processing Conference (Kos, Greece, 28 Aug.-2 Sept. 2017) - c. 2428-2432.

[54] S. Hajjar, T. Spears. Hardware Microprogramming Education Using Raspberry PI and Arduino Technologies. International Journal of Intelligent Information Systems. Volume 8, Issue 2, April 2019, Pages: 47-51.

55 Об утверждении правил предоставления инновационных грантов на коммерциализацию технологий - URL: <https://egov.kz/cms/ru/law/list/V1500012067> (дата обращения 06.01.2020).

56 Коммерциализация РНТД - URL: <http://sc.edu.gov.kz/main/commercialization-of-r-d/> (дата обращения 06.01.2020).

57 АО «Фонд науки» - URL: <http://science-fund.kz/konkursy/normativnyie-akty> (дата обращения 06.01.2020).

58 К. М. Сагиндыков, А. Б. Оспанова, А. Т. Жаркимбекова. Возможности применения проектов и приложений разработанных на основе микрокомпьютеров Raspberry Pi // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. Серия Информационные технологии. №1(44)/2019 – Алматы – с.80-85.

59 Сагиндыков К. М., Оспанова А. Б., Жаркимбекова А.Т. Raspberry Pi микрокомпьютеріне қатысты дереккөздеріне талдау жасау // Вестник государственного университета имени Шакарима города Семей. Серия Технические науки. №3(87)/2019 – Семей – с.79-84.

[60] А. Б. Оспанова, Б. Р. Сауанов Инструменты сетевой безопасности на основе микрокомпьютера Raspberry Pi. Труды IV международной научно-практической конференции «Интеллектуальные информационные и коммуникационные технологии – средство осуществления третьей индустриальной революции в свете стратегии «Казахстан-2050», Астана, 2017, С. 380-382.

61 Официальный сайт Комитета по статистике Республики Казахстан – [www.stat.gov.kz](http://www.stat.gov.kz/), <http://stat.gov.kz/official/industry/62/statistic/7>.

[62] Latest Kali Linux on Raspberry Pi with Touch Screen, Bluetooth and touch optimised interface (New: Bluetooth, Rogue AP, Remote access AP, more tools) – URL: https://whitedome.com.au/re4son/kali-pi/; https://whitedome.com.au/re4son/sticky-fingers-kali-pi/ (дата обращения 11.01.2018).

[63] Kali Raspberry Pi/Headless – URL: https://charlesreid1.com/wiki/ Kali\_Raspberry\_Pi/Headless (дата обращения 11.01.2018).

[64] Raspberry Pi Expansion Boards – URL: https://geektimes.ru/post/285156/; https://www.element14.com/community/designcenter/?ICID=menubar\_designcenter\_allhardware #boardType-mcu; www.raspberrypi.org/blog/tag/expansion-boards/; https://www.abelectronics.co.uk/products/18/raspberry-pi-expansion-boards; http://elinux.org/RPi\_Expansion\_Boards; https://losst.ru/luchshie-moduli-dlya-raspberry-pi-3; http://raspberrypi.ru/blog/13.html; https://geektimes.ru/post/275470/; https://geektimes.ru/post/285156/; http://raspberry.su/gp/40904.html (дата обращения 11.01.2018).

[65] Распиновка и описание разъемов GPIO Raspberry Pi (model B и B+) – URL: http://raspberrypi.ru/gpio\_pinout\_pi3/; http://raspberry.su/articl\_2.html; http://raspberry.su/articl\_3.html; http://raspberry.su/articl\_4.html (дата обращения 11.01.2018).

[66] Оспанова А. Б. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «WEBплатформа для автоматизации организации и сопровождения деловых мероприятий», c июня 2014 года по май 2017 года, № госрегистрации 0117РКИ0433.