

АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ

Смирнов Сергей Александрович, начальник отдела информационного обеспечения образовательных процессов управления информатизации Московского педагогического государственного университета, докторант кафедры теории и методики обучения физике Московского педагогического государственного университета

 drv.serge@gmail.com

Смирнов Александр Викторович, доктор педагогических наук, профессор кафедры теории и методики обучения физике Московского педагогического государственного университета

 smirnovav@rambler.ru

В статье представлена и описана модель аппаратного комплекса электронного обучения физике.

Ключевые слова: **электронное обучение, аппаратный комплекс, физика.**

«Под электронным обучением понимается организация образовательной деятельности с применением содержащейся в базах данных и используемой при реализации образовательных программ информации и обеспечивающих ее обработку информационных технологий, технических средств, а также информационно-телекоммуникационных сетей, обеспечивающих передачу по линиям связи указанной информации, взаимодействие обучающихся и педагогических работников...» [1].

Исходя из определения электронного обучения, становится ясно, что для его организации требуется значительная инфраструктура. До недавнего времени, электронное обучение могли позволить себе лишь крупные образовательные организации, со значительным бюджетом. С развитием технологий, электронное обучение становится все более доступным: снижается стоимость аппаратных средств, дорогостоящие программные средства предоставляются как услуги через интернет, растет информационно-коммуникационная компетентность обучающихся и обучающихся. Электронное обучение становится необходимой составляющей любого образовательного процесса.

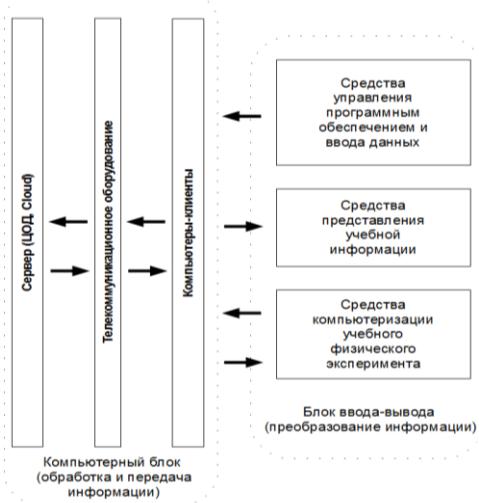
Рассмотрим модель современного макроскопического комплекса аппаратных средств электронного обучения физике. Она имеет клиент-серверную архитектуру и включает в себя:

1. Сервер (физический или виртуальный, несколько серверов).
2. Телекоммуникационное оборудование.
3. Компьютеры-клиенты (могут быть представлены ноутбуками, планшетами, смартфонами и т.п.).

4. Средства управления программным обеспечением и ввода данных (клавиатура, мышь, сенсорная панель, пульт, микрофон, видекамера, документ-камера).

5. Средства представления учебной информации (дисплей, проектор, аудиосистема, наушники, интерактивная доска).

6. Средства компьютеризации учебного физического эксперимента (датчики: момента времени, температуры, давления, проводимости, освещенности и др., регистраторы данных).



Особо отметим, что элементы комплекса не всегда представлены в виде отдельных аппаратных средств. Например, современный планшет не только играет роль компьютера, но и имеет в своем составе сенсорный экран, динамики, микрофон, видекамеру и датчики. Т.е. является комплексным устройством с серьезным потенциалом использования в электронном обучении в целом, а в электронном обучении физике особенно.

Рассмотрим аппаратный комплекс подробнее.

Первые три модуля комплекса являются составляющими логического блока, который мы назовем «компьютерным блоком». Его задача состоит в работе с информацией, представленной в цифровом виде: её обработка, передача и хранение.

Основой компьютерного блока является **сервер**. Сервером называют компьютерное аппаратное или программное обеспечение, предназначенное для обработки информации, поступающей из компьютерной сети (от компьютеров-клиентов). Обычно в качестве аппаратного обеспечения сервера используется компьютер с высокой вычислительной мощностью, большим объемом оперативной памяти и объемным запоминающим устройством. Однако это бывает не всегда, т.к. выбор сервера основывается на требованиях, которые предъявляются поставленными перед ним задачами,

а они, часто, могут быть не такими высокими, как предполагается изначально. В то же время, нельзя и недооценить возможную нагрузку на сервер, т.к. в этом случае, несмотря на экономию средств, можно столкнуться с гораздо более серьезной проблемой – нехватки ресурсов. Для поддержания правильной работы сервера, требуются компетентные специалисты: техники, системные администраторы, программисты.

По вышеописанным причинам (потребность в гибком масштабировании и низких затратах при качественной работе сервера), небольшие (а иногда и крупные) образовательные организации вместо покупки сервера используют услуги центров обработки данных (ЦОД, дата-центр). Такие центры специализируются на предоставлении серверных мощностей и имеют в своем составе всё необходимое оборудование и компетентных специалистов. В этом случае также говорят об использовании «облачных вычислений». Согласно одному из определений, «облачные вычисления (cloudcomputing) – это модель предоставления пользователю удобного доступа по требованию к массиву настраиваемых компьютерных ресурсов, которые могут быть быстро зарезервированы и высвобождены с минимальными действиями со стороны их провайдера» [2]. Особенностью «облачных вычислений» является то, что они могут частично или полностью взять на себя вычислительную работу компьютеров-клиентов, что снижает требования к ним, а, следовательно, уменьшает стоимость аппаратного комплекса.

Сервер необходим для размещения комплекса информационных систем, обеспечивающих функционал для полноценной работы всех участников образовательного процесса (о них мы поговорим в следующей главе). Облачные технологии как качество компьютерных ресурсов предлагают как непосредственно серверные мощности, так и прикладные программы. Наглядным примером последних, являются сервисы Google Диск и MicrosoftOffice 365, широко используемые в образовании, т.к. предоставляют свои услуги для образовательных организаций бесплатно.

Доступ компьютеров-клиентов к серверу осуществляется посредством **телекоммуникационного оборудования**. С его помощью строится телекоммуникационная сеть – она представлена сетью интернет и (или) внутренней сетью образовательной организации.

Для построения телекоммуникационной (компьютерной) сети используются проводные и беспроводные технологии. Проводные технологии используются для построения высокоскоростных (используется волоконно-оптический кабель) и среднескоростных (используется витая пара) сетей. Беспроводные технологии используются пока в большей степени для подключения компьютеров и мобильных устройств на небольшом удалении от источника радиосигнала (точки доступа wi-fi), а также для реализации мобильного интернета (GPRS, 3G, 4G). Развитие беспроводных технологий идет быстрыми темпами, и в ближайшем будущем они смогут в большинстве случаев заменить проводные сети, что сделает соединение более надежным и доступным.

Компьютеры-клиенты – это компьютеры участников электронного обучения. С их помощью ведется первичная или полная (без участия сервера) обработка информации, поступающей с устройств ввода, её хранение, и передача на устройства вывода. Для выполнения этих операций компьютер оборудован микропроцессором, оперативной памятью, устройствами ввода-вывода данных с периферийных устройств (на периферийные устройства), устройством хранения информации.

В качестве компьютеров-клиентов могут выступать традиционные компьютеры (системные блоки), ноутбуки (нетбуки), неттопы, планшеты, смартфоны. Характеристики компьютера пользователя (то, что обычно называется словосочетанием «системные требования») зависят от поставленных задач обучения. Более мощные компьютеры, с дорогостоящими видеоадаптерами, требуются для работы с качественной графикой и видеоматериалами. Но в большинстве случаев для организации электронного обучения физике достаточно средств средней ценовой категории или даже эконом-класса. При наличии подходящих программных средств и электронных образовательных ресурсов, предпочтительно использовать более удобные, портативные компьютеры: планшеты или ноутбуки.

Основные инструменты обучающего и обучающихся – это периферийные устройства ввода-вывода информации: связующие звенья между людьми и компьютерами. Именно с ними непосредственно взаимодействуют участники образовательного процесса: управляют учебной деятельностью, воспринимают информацию, создают цифровую информацию.

Блок периферийных устройств ввода-вывода мы разделили на три модуля, согласно выполняемым ими функциям в электронном обучении физике:

- средства управления программным обеспечением компьютера и ввода информации в компьютер,
- средства представления учебной информации,
- средства компьютеризации учебного физического эксперимента.

Связь между компьютерным блоком и блоком устройств ввода-вывода организуется напрямую, с помощью кабелей, прилагаемых к устройствам, либо с помощью специального коммуникационного оборудования, обеспечивающего также управление комплексом.

Некоторая условность деления модулей блока устройств ввода-вывода может быть проиллюстрирована на примере микрофона. Традиционно микрофон используется для записи звука или передачи его на расстоянии (аудио-коммуникации), т.е. используется для ввода информации в компьютер. В последнее время микрофон всё чаще используется в качестве устройства управления программным обеспечением – такая функция стала доступна благодаря развитию технологии распознавания речи. Кроме того, получаемую с микрофона информацию о звуке, как о физическом процессе, можно использовать в учебном физическом эксперименте.

Устройства ввода отправляют в компьютерный блок информацию, передаваемую человеком. Устройства вывода преобразуют цифровую ин-

формацию, обработанную компьютером, обратно, в формат, воспринимаемый рецепторами человека (зрение, слух, осязание, обоняние, вкус).

Цифровая информация, которой оперирует компьютер, физически представлена с помощью дискретных электрических сигналов. В зависимости от величины напряжения электрического сигнала, передается логический «0» или «1». Минимальный объем информации – бит, равен одному разряду в двоичной системе счисления. Одномоментно компьютер обрабатывает один байт информации, равный 8 бит ($2^8 = 256$ значений).

Работу устройства ввода информации рассмотрим на примере знакомого всем устройства – клавиатуры. Электрическая схема клавиатуры представляет собой матрицу, каждый элемент которой представляет собой контакт, замыкающийся при нажатии на соответствующую ему клавишу клавиатуры. Замыкание приводит к появлению напряжения на специальном контроллере, постоянно анализирующем состояние клавиш. В зависимости от того, на какой клавише произошло замыкание, на системную плату компьютера передается соответствующий однобайтовый численный код [3]. Поскольку каждая клавиша имеет свой уникальный код, компьютер без труда может «понять», какая именно клавиша была нажата. Далее, компьютерная программа выполняет команду, связанную с нажатием соответствующей клавиши, а результат обычно передается на устройство вывода. Похожий принцип используется и в сенсорных панелях.

Наиболее распространенным устройством представления информации сегодня является жидкокристаллический дисплей. Основными его модулями являются модуль подсветки и жидкокристаллическая матрица. Каждый пиксель матрицы представляет собой параллельно расположенные прозрачные электроды, создающие электрическое поле в расположенных между ними жидких кристаллах, и два поляризационных фильтра, с внешних сторон от электродов (плоскости поляризации фильтров перпендикулярны и при выключенном дисплее не пропускают свет). Жидкие кристаллы могут находиться в некотором числе фаз, промежуточных между твердым и жидким состояниями. Молекулы жидких кристаллов являются стержнеобразными органическими соединениями и находятся в разных ориентациях в этих фазах [3]. При подаче напряжения на электроды, молекулы стремятся выстроиться вдоль поля, вследствие чего поляризация пикселя меняется, т.е. меняется его прозрачность. При отключении напряжения, силы упругости возвращают молекулы в первоначальное состояние. Таким образом, меняя напряжение на электродах жидкокристаллической матрицы, видеоадаптер (видеокарта) компьютера меняет изображение на дисплее. Такой же принцип действия имеют мультимедиа проекторы с матрицей из жидких кристаллов. Видеоадаптер компьютера выполняет функцию накопителя, обработчика и преобразователя цифровой информации об изображении в аналоговые электрические сигналы, передающиеся на матрицу. Для выполнения последней из перечисленных функций, он включает в себя цифро-аналоговый преобразователь. Такие преобразовате-

ли, а также обратные им аналого-цифровые преобразователи, часто являются частью цепи «человек-компьютер-человек».

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) – это устройство, преобразующее аналоговый электрический сигнал в цифровой (дискретный). АЦП является важным элементом аппаратной платформы электронного обучения физике. Он необходим компьютеру для перевода в цифровой вид информации, поступающей с устройств, регистрирующих различные физические величины. Одним из таких широко применяемых устройств является микрофон. Звуковые волны, распространяемые в среде, вызывают колебания чувствительной мембраны микрофона, которые, в свою очередь, вызывают колебания электрического тока, поступающие на вход звуковой карты компьютера. Звуковая карта снабжена АЦП, преобразующим эти аналоговые колебания в цифровую информацию о звуке (об амплитуде и частоте звуковых колебаний).

При воспроизведении цифрового звука используется обратная схема. Для этого звуковая карта снабжена цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП), передающим аналоговый электрический сигнал на динамики аудиосистемы.

Устройства ввода данных и устройства представления информации обычно работают в комплексе, благодаря чему возникает интерактивность электронного обучения. Например, мультимедийный проектор в комплексе с сенсорной панелью создают интерактивную доску – мощный инструмент электронного обучения. Как отмечают исследователи методики применения интерактивной доски в обучении физике, она в значительной мере расширяет возможности учителя, дополняет его деятельность качествами, которые отсутствуют при применении меловой или маркерной доски, позволяет развивать методы активного обучения, создавать собственные макеты электронных конспектов уроков, которые могут заполняться обучающимися [4]. Такой комплекс, впрочем, может быть представлен одним, но более дорогостоящим устройством – сенсорным экраном или сенсорным проектором.

Подключив к комплексу аудиосистему, мы сделаем его более мультимедийным, позволив обучающимся воспринимать изначально цифровую информацию не только визуально, но и аудиально. Тем самым увеличим её восприятие (при условии наличия такой информации). Подключив к комплексу электронную опросную систему обучающихся мы сделаем его еще более интерактивным.

Электронные опросные системы представляют собой набор пультов для опроса, которые раздаются учащимся, и приемный блок, с возможностью подключения к компьютеру. Такая система может найти весьма широкое применение в различных формах учебной деятельности.

Например, объяснение нового материала всегда сопровождается коротким опросом – текущим контролем усвоения знаний обучающихся. Такой опрос должен быть коротким по времени, но, в то же время, максимально информативным для обучающего. Традиционно эта задача решает-

ся лишь в малой степени. С помощью системы опроса информация поступает мгновенно от всех учащихся, может быть отображена на экране, а учитель принимает решение – двигаться дальше или повторить объяснение еще раз. Собираемая информация может быть использована для выставления оценок по итогам урока. Такая система позволяет удерживать внимание учащихся в течение всей лекции. Блиц-опрос – эффективное средство проверки знаний учащихся до начала и после окончания урока. Он позволяет узнать: хорошо ли усвоена изучаемая тема, успешно ли ученики справились с домашним заданием, эффективен ли был урок и т.д. Главными преимуществами такого опроса над другими способами контроля знаний являются: высокая информативность, низкий процент списывания, экономия времени урока, которого всегда не хватает учителю и экономия времени на проверку, анализ и оценку работ после уроков.

Эффективно дополнить получившийся комплекс документ-камерой. Это устройство позволяет получать цифровое динамическое изображение любых объектов высокого качества, обрабатываемое компьютером или напрямую видеопроектором. Также как и обычная видеочка, документ-камера позволяет увеличивать изображение для демонстрации мелких деталей.

Своему названию документ-камера обязана своей первоочередной функции: отображать бумажные документы на экране компьютера или мультимедийного проектора. Традиционно эта функция широко использовалась в обучении и реализовывалась кодоскопом (оверхэд-проектор). Документ-камера – устройство значительно более удобное и функциональное. Размеры и вес документ-камеры позволяют любому человеку без труда с ней обращаться, она не «привязана» к экрану, позволяет обрабатывать и сохранять полученное изображение в динамике и статике. Вот некоторые возможности использования документ-камеры в обучении:

- простое проецирование текста и рисунков с бумаги на экран, аналогично работе с кодоскопом, но используется обычная бумага, а не прозрачная;

- использование специальных функций при проецировании: «заморозка» изображения или «заморозка» части изображения, например, заголовка, чтобы акцентировать на нем внимание, а в «незамороженной» части изображения работать с материалом;

- демонстрация мелких предметов с возможностью увеличения в 22 раза (в некоторых моделях документ-камер), что позволяет сравнить ее с микроскопом;

- сохранение цифровых статических изображений и видео для дальнейшей работы с ними: создание электронных презентаций, монтаж и публикация изображений и видео в интернете, для дистанционной работы с учениками или просто демонстрация на уроке;

- внесение правок непосредственно на проецируемом изображении, не исправляя оригинал с помощью интерактивной доски.

С помощью видеокамеры и микрофона можно вести запись занятия, с одновременной трансляцией в сеть. Сегодня эти устройства во многом олицетворяют дистанционные технологии обучения.

Компьютеризация учебного физического эксперимента открывает возможности автоматизации процессов измерения и обработки результатов, а также получения качественно новых результатов при исследовании быстрых процессов и временных зависимостей. Для регистрации и измерения таких физических величин как температура, давление, ускорение, угловая скорость, проводимость, индукция магнитного поля и др. отечественной и зарубежной учебно-технической промышленностью выпускаются специальные датчики. Далее рассмотрим принцип действия некоторых моделей датчиков.

Наиболее употребляемый в учебном физическом эксперименте, датчик момента времени. В основе его действия лежит оптический принцип. Состояние датчика меняется при перекрытии непрозрачным телом оптической связи (оптической оси) между, входящими в состав датчика оптическими элементами, светодиодом и фотодиодом. Светодиод и фотодиод устанавливают друг против друга. В момент прохождения между ними физического объекта оптическая связь обрывается. Как правило, в физических экспериментах используют несколько датчиков (минимум два). Это необходимо для измерения промежутков времени.

Принцип действия датчика угловой скорости такой же, как и у датчика момента времени, отличие в том, что в зазоре оптопары (оптические ворота) вращается диск, разбитый на прозрачные и непрозрачные сектора. В большинстве физических экспериментов ось вращения диска датчика, совмещается с осью вращающегося элемента учебной экспериментальной установки.

Датчик угла поворота представляет собой, многооборотный резистивный преобразователь (потенциометр), размещаемый в жестком корпусе. На валу резистивного преобразователя закреплена втулка для соединения датчика с элементом учебной экспериментальной установки, совершающим вращательное или колебательное движение.

Датчик температуры представляет собой тонкую трубку, как правило, выполненную из нержавеющей стали (щуп) с чувствительным элементом (терморезистором) на конце.

Датчик давления может быть выполнен на основе тензометрического чувствительного элемента или мембранного чувствительного элемента. Датчики давления имеют постоянную времени – не более 0,1 с, что позволяет регистрировать давление в переходных процессах, например, в случае адиабатного расширения газа.

Датчик влажности воздуха имеет в своей основе чувствительный элемент, представляющий собой плоский конденсатор, у которого в качестве диэлектрика используется тонкий слой полимера. Изменение относительной влажности воздуха приводит к изменению диэлектрической про-

нищаемости полимера и, как следствие, к изменению емкости конденсатора.

Датчик проводимости предназначен для измерения удельной электрической проводимости различных водных растворов. Действие датчика основано на измерении сопротивления среды между электродами при пропускании переменного тока высокой частотой до 1 кГц.

Датчик индукции постоянного магнитного поля состоит из чувствительного полупроводникового элемента, через который пропускают электрический ток. Физический принцип действия основан на эффекте Холла, который заключается в следующем. Если в полупроводнике движутся заряды, то в магнитном поле они отклоняются силой Лоренца в направлении, перпендикулярном к направлению тока (т.е. скорости носителей тока), и индукции магнитного поля. В результате в поперечном сечении полупроводника возникает разность потенциалов пропорциональная индукции магнитного поля. Эта разность может быть измерена. Чувствительный полупроводниковый элемент, размещается в щупе (узкой трубке). Датчик измеряет тангенциальную составляющую вектора индукции магнитного поля, направленную вдоль оси щупа.

Датчик освещенности выполнен на основе полупроводникового фотоэлемента, ЭДС которого зависит от величины падающего на него светового потока.

В основе принципа действия датчика силы лежит изменение сопротивления переменного резистора (реостата), размещенного на одной оси с динамометрической пружиной.

Для передачи информации с аналоговых датчиков в компьютер требуются аналого-цифровые преобразователи. Обычно они являются составной частью, так называемых, интерфейсов – устройств с набором входов для подключения датчиков и выходом USB для подключения к компьютеру. Существуют также интерфейсы, подключаемые к мобильным компьютерам через Bluetooth или Wi-Fi, что значительно упрощает проведение лабораторных работ с использованием датчиков. К одному интерфейсу можно подключить сразу несколько датчиков, что позволяет измерять несколько физических величин одновременно.

Основной характеристикой аналого-цифрового преобразователя является частота дискретизации (преобразования аналогового сигнала в дискретный). Чем она выше, тем шире спектр цифрового сигнала, а значит возможность более детального анализа данных, поступающих с датчика. Массив получаемых данных обычно обрабатывается специальным программным обеспечением, позволяющим получать графики изменения физических величин в реальном времени, сохранять их в памяти компьютера, а также выполнять экспорт массива в формат электронной таблицы для проведения детального анализа.

В качестве примера рассмотрим цифровую лабораторию от американской компании PASCО, выпускающей учебные датчики для естественнонаучных и инженерных дисциплин. В России продукцию этой компании

представляет фирма Polymedia. В комплект ученика входят: датчик движения, датчик освещенности, датчик магнитного поля, датчик низкого давления, датчик силы, поворотный датчик движения, датчик температуры, датчик напряжения, два датчика момента времени, стальной зонд для датчика температуры, цифровой преобразователь, кабель-удлиннитель. Комплект для учителя помимо вышеперечисленных элементов включает датчик заряда, двухканальный датчик напряжения и датчик альфа/бета/гамма излучений (счетчик Гейгера). К комплекту датчиков требуется приобрести регистратор данных, позволяющий снимать показания с датчиков, визуализировать данные и проводить их анализ, либо интерфейс для подключения к компьютеру в комплекте с программным обеспечением, либо беспроводной интерфейс для подключения к мобильным устройствам на базе ОС Android или Apple iOS. С помощью таких комплектов можно проводить большое количество лабораторных работ и демонстрационных экспериментов, с интересом воспринимаемых школьниками. Пока, однако, методические описания для проведения лабораторных работ с использованием рассматриваемых датчиков имеются только на английском языке. Тем не менее, множество подобных комплектов уже имеется в образовательных организациях России с русскоязычным описанием.

Интерес к использованию портативных информационно-измерительных систем в учебном физическом эксперименте будет возрастать. Это легко объяснимо возможностями комплексного их использования для учебной работы в различных условиях, как в учебных физических лабораториях, так и вне учебных лабораторий, например, в различных выездных мероприятиях (производственных экскурсиях, лабораторных занятиях на природе по изучению экологической обстановки и т.п.). Особенно перспективным является использование портативных систем в самостоятельном учебно-научном физическом эксперименте, что достигается целым рядом удобств, по сравнению с использованием обычных стационарных информационно-измерительных систем.

При выборе портативной информационно-измерительной системы для учебного физического эксперимента следует руководствоваться учебными задачами, в решении которых должны оказать помощь эти средства. Например, следует внимательно изучить состав датчиков, предлагаемых в комплекте (от этого в значительной степени зависит цена комплекта, так как датчики очень дорогие). Не следует приобретать комплекты, имеющие в своем составе датчики, которые в учебном физическом эксперименте не используются. Дело в том, что производители (особенно зарубежные фирмы) стараются изготавливать широкий спектр датчиков, дабы покрыть весь спектр физико-химических величин измерением, которых приходится заниматься в дисциплинах естественнонаучного цикла (физике, химии, биологии и т.д.). Российские распространители (дилеры) не всегда учитывают особенности преподавания отдельного предмета (в нашем случае, физики) и предлагают для лабораторий физики перенасыщенные комплекты. Например, в составе, портативной информационно-измерительной сис-

темы, производимой израильской фирмой Fouriersystem, Inc имеется датчик цветности. Он предназначен для определения концентрации растворов по степени их окрашивания. В учебном физическом эксперименте этот датчик вряд ли найдет применение.

Особое внимание следует обращать на погрешности измерений физических величин. Встречаются случаи, что указанные в инструкциях на систему данные не отвечают действительности. Для проведения учебной экспериментально-исследовательской деятельности студентов требуются приборы с погрешностью не более 5%.

Наконец, следует обращать внимание на представление информации о результатах измерений и программные возможности их дальнейшей обработки. Обратите внимание, все ли физические величины отображаются на экране в шкалах, соответствующих международной системе СИ [5,6,7].

Завершая описание комплекса аппаратных средств электронного обучения физике, подчеркнем, что в его основе лежит принцип вариативности, позволяющий изменять составы модулей в зависимости от условий конкретного образовательного процесса и методик, используемых в нем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Закон об образовании в Российской Федерации от 29 декабря 2012 г.
2. И. Билан. Облачные сервисы для библиотек и образования. http://www.aselibrary.ru/datadocs/doc_4339hi.pdf
3. С.Ю. Аксенов. ЭУМК "Архитектура компьютера". <http://arxitektura-rk.26320-004georg.edusite.ru/p133aa1.html>
4. Ромашкина Н.В., Мишина Е.А., Долгая Т.И. Организация учебной деятельности на уроках физики в логике научного познания с использованием интерактивной доски. Ученые записки Забайкальского государственного университета. Серия: физика, математика, техника, технологии. Забайкальский государственный университет (Чита). 2010. С. 82-85
5. Смирнов А.В., Смирнов С.А. Современные учебные информационно-измерительные системы. / Физика в школе, № 7, 2008 С. 40 – 44
6. Смирнов А.В., Смирнов С.А., Калачев Н.В. Информационно-измерительные системы для проблемно-ориентированных практиков с удаленным доступом //Физическое образование в вузах. – Том 18, номер 1, 20012. – С. 140 – 148
7. Виглеб Г. Датчики. М.: Мир, 1989