

ФОРМИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНОГО МЫШЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ

УДК 372.853:004

ББК 4426.223241+В3р+4402.684.3

ГСНТИ 14.85.65

Код ВАК 13.00.02

Баяндин Дмитрий Владиславович,

кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра общей физики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет; 614000, г. Пермь, Комсомольский пр-т., д. 29; e-mail: baya260861@yandex.ru.

ПОЛНОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛИРУЮЩАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ СРЕДА ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНОГО МЫШЛЕНИЯ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: виртуальная среда обучения, компьютерные модели, интерактивные тренажеры, самостоятельная работа, эффективность обучения.

АННОТАЦИЯ. Наиболее разносторонняя и эффективная компьютерная поддержка предметного обучения может быть осуществлена на основе среды, обеспечивающей все фазы учебного процесса, все виды учебно-познавательной деятельности и формы организации занятий, включая самостоятельную работу учащихся. Такая среда должна обладать высокой степенью интерактивности и, значит, основываться на технологиях математического и компьютерного моделирования. Данная концепция реализована применительно к школьному и вузовскому курсу физики в электронном издании «Интер@ктивная физика», разработанном Институтом инновационных технологий (г. Пермь). Основными составляющими программного продукта являются контент (преимущественно интерактивные модели и задания), инструмент компоновки объектов среды для поддержки занятия, инструмент систематизации знаний учащихся, система интернет-мониторинга результатов их учебной деятельности. Практика использования продукта показывает, что полнофункциональная компьютерная среда обучения физике обладает значительным потенциалом в плане формирования инженерного мышления учащихся. Наиболее полезны учебные объекты, предполагающие системный анализ ситуаций и формализацию их описания, исследование многопараметрических моделей, конструирование систем и поиск их оптимальных конфигураций, интерактивное взаимодействие с макетами реальных устройств.

Bayandin Dmitriy Vladislavovich,

Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor of the Department of General Physics, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia.

MULTIFUNCTIONAL MODELING COMPUTER ENVIRONMENT IN PHYSICS TEACHING AS A TOOL FOR ENGINEERING THINKING

KEYWORDS: virtual environment of educating, computer models, interactive simulators, self-guided work, efficiency of teaching.

ABSTRACT. The most diversified and efficient computer support of subject teaching can be carried out by environment that provides all the stages of teaching process, types of learning activities and its organization forms including students' independent work. Such an environment should have a high degree of interactivity and therefore be based on mathematical and computer modeling technologies. This concept was implemented in relation to the school and university Physics course in the software «Inter@ctive physics», elaborated by Innovative Technologies Institute (Perm, Russia). Its main components are content (mostly interactive models and tasks), tool for selecting environment objects to support the course, tool for students' knowledge systematization, system of Internet monitoring of their learning activity results. The practice of using the product shows that multifunctional computer environment in Physics teaching has a considerable potential in the formation of students' engineering thinking. The most useful are learning objects, suggesting a systemic analysis of situations and the formalization of their description, the study of multiparameter models, designing systems and finding optimal configurations, interaction with computer models of real devices.

Развитие интереса учащихся к естественнонаучному и техническому образованию, повышение его качества, интенсификация обучения в условиях ускоряющегося в масштабах планеты научно-технического прогресса невозможны без использования новых педагогических технологий, в том числе опирающихся на современные информационные технологии.

Несомненно, развитие инженерного мышления должно в первую очередь и в большей степени основываться на деятельности, связанной с материальными объектами. Однако виртуальный мир, компьютерная учебная или учебно-игровая среда могут при надлежащих организации и формах использования способствовать этому развитию.

Такая точка зрения косвенно подтвер-

ждается определением инновационного и инженерного (как частного случая инновационного) мышления, предложенным в работах [14; 15]. Современные педагогические информационные технологии вполне состоятельны в плане его развития, поскольку поддерживают учебную деятельность с различными учебными, в том числе техническими объектами как на когнитивном (знания), так и на инструментальном (умения использовать знания) уровнях, а аспекты этой деятельности могут характеризоваться как политехнические, конструктивные, научно-теоретические, преобразующие и творческие [14, с. 6].

Информационные технологии способствуют решению актуальной задачи последовательной реализации в процессе обучения деятельностного подхода — в том, что касается развития представлений о мироустройстве, причинах и взаимосвязях различных явлений, формирования умений постановки проблем и решения задач, получения навыков работы с приборами и установками, проведения экспериментальных исследований.

Информационно-образовательная среда (ИОС) за последнее десятилетие активной информатизации системы образования существенно изменилась, и в наибольшей, пожалуй, степени эти изменения коснулись обучения физике. Роль виртуальной составляющей ИОС курса физики стала весьма заметной, хотя все еще далекой от идеала. Применение программных средств в школе страдает, во-первых, отсутствием системности и фрагментарностью, а во-вторых, превалированием пассивных форм виртуальных учебных объектов (ВУО) — текстов, статичной графики и видео, а также создаваемых на их основе презентаций. Менее трети педагогов применяют анимации и модельные демонстрации, в основном, в режиме фронтальной работы. Чаще, чем ВУО других видов, учителя используют компьютерные тесты с простейшими типами заданий. Между тем потенциал виртуальной составляющей ИОС в части физики очень значителен. В рамках федерального проекта «Информатизация системы образования» (2005–2008 гг.) и помимо него был разработан ряд программных комплексов нового поколения, содержащих высокоинтерактивные объекты — модели и модельные конструкторы, а также задачи и тренажеры с серьезными экспертными системами анализа действий учащегося. Схожая ситуация с обучением фундаментальным дисциплинам сложилась в вузе.

Между тем одним из путей повышения уровня обученности школьников и студентов физике, развития у них инженерного мышления является системное использова-

ние высокоинтерактивных ВУО, причем не только при фронтальной, но и при индивидуальной работе, во всех видах учебной деятельности. Соответственно, современная среда компьютерной поддержки предметного обучения должна быть основана на технологиях математического и компьютерного моделирования. Можно говорить о постепенном формировании в последнее десятилетие *виртуальной среды обучения*, которую мы понимаем как совокупность технологий, учебно-информационных ресурсов и структур данных, образующих функционально полную систему, призванную обеспечивать все возможные формы деятельности пользователя (педагога и учащегося) в процессе учения. Такая среда выполняет в том числе функции носителя информационной метатехнологии и организационных форм образовательного процесса. Естественной надстройкой над виртуальной средой обучения является система управления и мониторинга. Вопросы структуры, состава и функций виртуальной среды обучения обсуждаются, например, в работах [2; 12].

Важнейшим элементом виртуальной среды обучения являются электронные средства образовательного назначения (ЭСОН), необходимые для осуществления собственно процесса предметного обучения [1]. ЭСОН можно определить как «программное средство, в котором отражается некоторая предметная область, в той или иной мере реализуется технология ее изучения, обеспечиваются условия для осуществления различных видов учебной деятельности» [13, с. 65]. Структура *полнофункционального ЭСОН*, способного обеспечивать поддержку широкого спектра форм организации учебных занятий и видов учебной деятельности, а также виды входящих в его состав виртуальных учебных объектов обсуждались нами ранее в работах [4; 5]. Смысл используемых здесь и далее в тексте наименований виртуальных учебных объектов соответствует подробно изложенному в статье [3, с. 467–468].

Проектирование полнофункционального ЭСОН должно проводиться на основе обобщенной дидактической модели учебного процесса, охватывающей все фазы обучения: предъявляющую иллюстративно-демонстрационную, лабораторно-исследовательскую, тренажерную, контролирующую. Попытка построения такой модели описана в конце статьи.

Примером полнофункционального ЭСОН может служить предметно-ориентированная среда «Интер@ктивная физика», разработанная Институтом инновационных технологий (ИИТ, г. Пермь). Продукт основан на технологиях математическо-

го и компьютерного моделирования, которые привносятся базовым педагогическим инструментарием средством — системой визуального проектирования и математического моделирования Stratum-2000 [10].

Основными составляющими продукта «Интер@ктивная физика» являются:

- 1) предметно-ориентированный контент;
- 2) инструмент компоновки объектов среды для сопровождения занятий, предназначенный для преподавателя;
- 3) инструмент систематизации знаний учащихся (*карты знаний*);
- 4) система интернет-мониторинга результатов учебной деятельности с электронным журналом и возможностями статистической обработки данных.

В контенте «Интер@ктивной физики» представлены практически все виды (*жанры*) виртуальных учебных объектов, описанные в [3; 4; 5]: около 150 видеофрагментов (записей экспериментов и демонстраций работы с интерактивными моделями и заданиями — видеонструкций и методических материалов); около 20 отдельных анимаций и серий анимаций; более 400 интерактивных моделей (интерактивные плакаты, демонстрации, исследовательские модели, симуляторы лабораторных работ); 8 тематических конструкторов; более 600 интерактивных заданий и репетиторов; более 100 интерактивных тренажеров (серий тематически связанных многовариантных и многошаговых заданий с итоговым тестом); 6 полных интерактивных уроков; 70 тестов (самопроверки, контрольных по теме, итоговых по разделу); 40 обобщающих текстов с иллюстрациями.

Общее количество ВУО в системе — около полутора тысяч, причем большая их часть предназначена в первую очередь для индивидуальной работы учащихся. Учебная среда охватывает все разделы учебной дисциплины (от механики до квантовой физики и теории относительности) и все основные темы — от вводных в курс (методы научного познания, физические величины и единицы измерения, измерительные приборы, роль математики в развитии физики, физика и техника) до обобщающей (элементы физической картины мира). Также представлен раздел по избранным темам математики (графики функций, векторная алгебра, тригонометрия).

Внутри среды выделены две подсистемы, ориентированные на первый концентр средней школы (7-9 классы) и на второй (10-11 классы). Этот последний включает материал, полезный не только при базовом, но и при профильном обучении в школе, а также при изучении курса общей физики в техническом вузе (динамика вращательного

движения, сложные колебательные системы, сложение колебаний, векторные диаграммы, поля систем неточечных зарядов, расчет электрических цепей на основе правил Кирхгофа, некоторые сложные вопросы оптики и физики микромира).

Входящие в состав продукта ВУО имеют развитый манипуляционно-графический интерфейс, предназначенный для организации взаимодействия пользователя с компьютерной системой посредством оперирования с графическими объектами при помощи клавиатуры и мыши. Интерфейс обеспечивает возможности композиции/декомпозиции объектов, сборки их систем, задания начальных условий и управления моделируемыми процессами, построения графиков, векторных картин сил и полей, хода лучей в оптических системах, составления уравнений и так далее.

Назначение интерактивных моделей в составе среды — не только демонстрация явления (в том числе в форме мысленного эксперимента), но и сравнение объектов, сопоставление явлений; введение новых понятий; исследование явления на модели; имитация физического эксперимента; анализ ситуации, выработка умения видеть и понимать происходящее; поиск закономерностей; развитие самостоятельности, навыков исследования; открытие субъективно нового знания; пояснение принципа действия технических устройств; конструирование ситуаций и устройств на основе тематических библиотек базовых моделей.

При работе с моделями — как дополнение к классическому лабораторному практикуму — учащиеся осуществляют в режиме диалога с компьютером такие формы деятельности, как наблюдение, сопоставление, обобщение, выбор, анализ результатов, поиск условий для реализации поставленной задачи.

Интерактивные задания, репетиторы, тренажеры призваны обеспечить формирование базовых знаний и выработку основных умений, таких как использование измерительных приборов; сборка приборов и устройств; обработка результатов эксперимента; систематизация и классификация информации; построение цепочек логических рассуждений; построение векторных картин сил или полей; запись уравнений (законов движения, проекций); решение многошаговых задач на построения (например, хода лучей в оптике) и на вывод формул и вычисления, возможно, с построением графиков зависимостей физических характеристик. Интерактивные задания, репетиторы, тренажеры образуют в «Интер@активной физике» систему с уровневой организацией.

Виртуальные учебные объекты обычно представлены в среде в виде тематически связанных групп, названных в работе [3]

«мультиплетами» — серий ВУО различных жанров. Назначение мультиплета — обеспечить сопровождение изучения материала от фазы первого знакомства с ним, через углубление понимания, повторение и обобщение — до фазы контроля. Таким образом, процесс учения оказывается выстроен в виде своеобразной технологической цепочки, которая может легко варьироваться с целью обеспечения индивидуализации обучения. Технологичность процесса учения для школьника или студента облегчает как его работу, так и работу преподавателя.

С точки зрения развития инженерного мышления в составе среды наиболее полезны модели и задания, предполагающие системный анализ ситуаций и формализацию их описания, исследование многопараметрических моделей, конструирование систем и поиск их оптимальных конфигураций, интерактивное взаимодействие с макетами реальных устройств.

Информация, характеризующая успешность работы учащегося с каждым ВУО, фиксируется экспертной системой для дальнейшей обработки и отображения в электронном журнале и системе мониторинга. Кроме того эта информация отображается на содержащихся в компьютерной среде структурно-логических схемах учебной дисциплины, образуя оригинальный инструмент систематизации изучаемого материала — *карты знаний*.

Вопросам представления знаний в интеллектуальных системах посвящено значительно число работ [6; 7; 9]. Одним из таких способов являются структурно-логические модели предметных областей, предназначенные для систематизации учебной информации путем визуализации взаимоотношений и связей между понятиями, явлениями, законами, свойствами объектов, для отображения логики развертывания учебных дисциплин от общего к частному, от главного к второстепенному. В «Интер@ктивной физике» элементы структурной модели связаны с контентом: по нажатию на элемент схемы правой клавишей мыши открывается список соответствующих ему ВУО. При этом непосредственно на элементах схемы отображаются цветом отметки, полученные учащимся при работе с ВУО. Достаточно беглого взгляда на карту знаний, чтобы составить впечатление об объеме и качестве выполненной учащимся работы. Непосредственно изнутри карты знаний возможна ликвидация пробелов, выполнение работы над ошибками.

Карты знаний отображают учебные достижения отдельного учащегося. Большой объем информации и возможность сопоставления результатов обучения для разных

учащихся, групп и классов учащихся одного или различных образовательных учреждений обеспечивает система интернет-мониторинга. Информация становится доступной для просмотра и анализа не только ученику и учителю, но и родителям, администраторам образовательных учреждений, руководителям системы образования муниципального и регионального уровней.

В целом, описанная среда обучения содержит объемный и разнообразный контент и ряд инструментов для управления процессом обучения. Подчеркнем, что наиболее важная и полезная особенность продукта — отличающая его от большинства разработок — это возможность средствами полнофункциональной виртуальной среды обучения организовывать индивидуальную работу учащихся, причем делать это технологично, без роста трудоемкости работы учителя.

Учебная компьютерная среда «Интер@ктивная физика» прошла длительную апробацию и в настоящее время успешно используется в образовательных учреждениях Пермского края, ряда регионов России и Казахстана [5].

Наблюдение за ходом эксплуатации продукта (в том числе через систему интернет-мониторинга) позволяет утверждать, что его использование дает локальные или системные положительные результаты в смысле появления у обучаемых дополнительной мотивации к учению и повышения уровня обученности. Выявлены и определенные трудности, необходимость развития методики применения электронных средств образовательного назначения [4].

В педагогической литературе описаны различные модели процесса обучения, в том числе компьютеризованного (см., например, работы [8; 11]). Проведенные нами эксперименты в техническом и педагогическом университетах Перми и обобщение опыта учителей физики Пермского края позволяют уточнить модель обучения в случае использования полнофункциональной предметно-ориентированной компьютерной среды.

На рис. 1 модель обучения раскрыта на трех уровнях: источников информации, форм организации учебного процесса и видов учебно-познавательной деятельности. Чтобы не перегружать схему, стрелками указаны важнейшие или не вполне очевидные связи и соответствия между блоками.

Из четырех источников информации — преподаватель, учебная литература, окружающий мир и виртуальная учебная среда — последняя раскрыта на уровне ее компонентов [4; 5]; соответствующие блоки объединяет пунктирная линия. На следующих двух уровнях элементы схемы, имеющие отражение в виртуальной среде, также

обведены пунктирной линией. Видно, что таких элементов большинство; это означает, что виртуальная учебная среда близка к тому, чтобы поглотить классическую ИОС. При этом нивелируется различие между учебными объектами, представленными в материальном и в виртуальном виде (например, несущественно, где размещены

тексты и изображения — в реальной книге или на экране компьютера). На первый план выходит не носитель информации, а используемая для работы с ней технология. Соответственно, работу с компьютером нет смысла выделять в отдельный вид учебной деятельности, поскольку он способен отображать и пассивные, и интерактивные объекты.

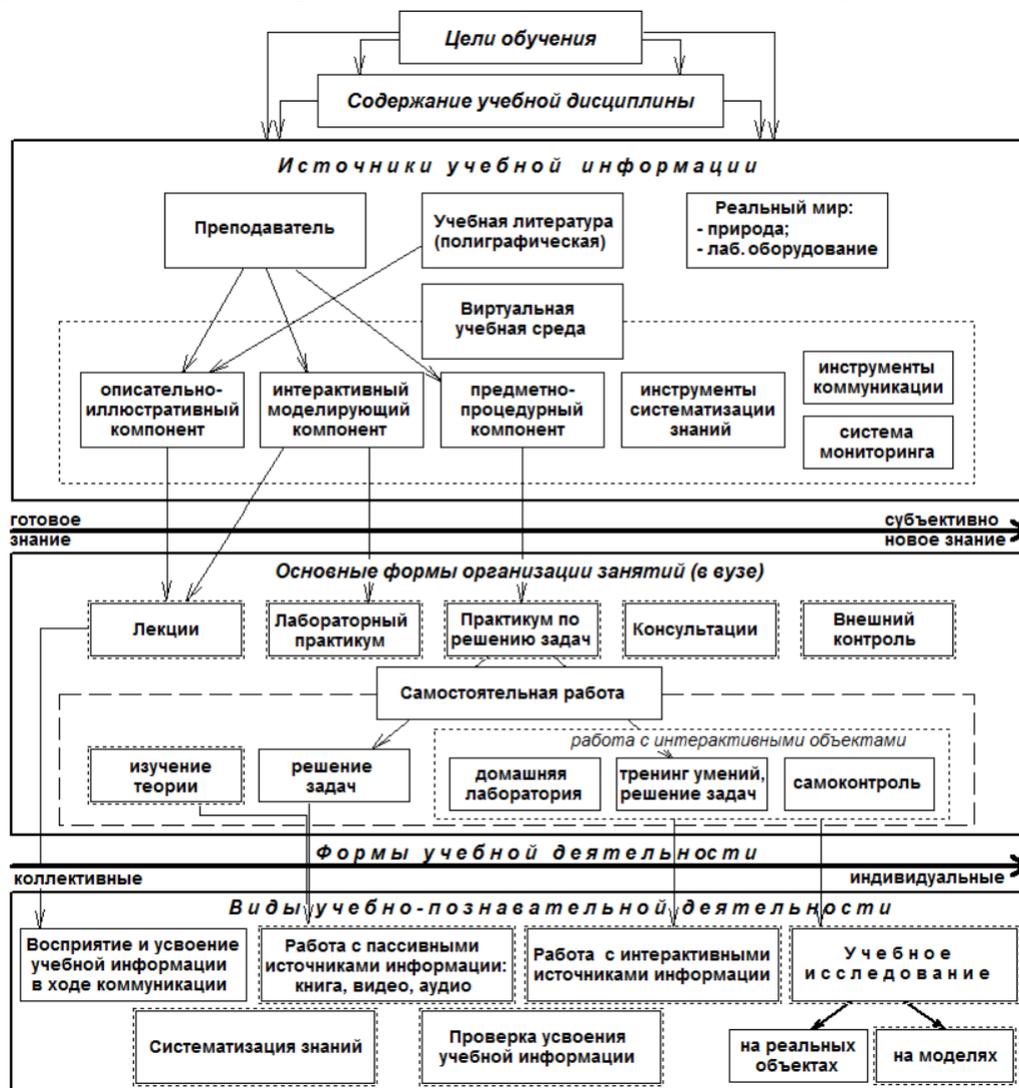


Рис. 1. Информационно-дидактическая модель компьютеризованного обучения

В связи с этим представляется, что на нынешнем этапе развития технологий модель обучения следует строить без привязки к материальным объектам — носителям информации. Более важен тип информации, способ ее обработки, используемая информационная технология. Традиционные технологии обработки информации (чтение, визуальное восприятие, сопоставление, анализ, поиск закономерностей, построение мысленной либо материальной модели, прогнозирование) дополняются технологиями компьютерного моделирования и ведения интерактивного диалога с компьютерными экспертными системами.

Традиционные и новые технологии обработки информации используются при работе с различными видами учебных объектов — текстами, изображениями, видеоматериалами, лабораторными установками, материальными и компьютерными моделями, интерактивными и традиционными заданиями.

Таким образом (как ни странно на первый взгляд), появление и развитие виртуальной составляющей информационно-образовательной среды не влечет за собой революционных изменений в методике обучения. Скорее можно говорить о воплощении принципа соответствия: прежняя модель обучения является частным случаем

новой. Различные компоненты виртуальной образовательной среды органично (но с учетом их специфики) встраиваются в структуру традиционных форм организации занятий и видов учебной деятельности, разумеется, если субъекты образовательного процесса достаточно свободно владеют соответствующими информационными технологиями.

Итак, новые информационные технологии, прежде всего математическое и компьютерное моделирование, породили новые виды средств обучения, но методика их использования не является принципиально

новой. (Сказанное не означает, что модернизированной методике преподавателей не нужно обучать.) Полагаем, что при сохранении сути и обновлении формы методики обучения виртуальная среда может существенно повысить его эффективность при условиях: 1) системного использования прежде всего высокоинтерактивных ВУО; 2) использования ВУО в индивидуальной работе, при различных формах организации занятий, включении их во все виды учебной деятельности.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Агеев В. Н., Древис Ю. Г. Электронные издания учебного назначения: концепции, создание, использование : учебное пособие / под ред. Ю. Г. Древиса. М. : МГУП, 2003.
2. Байандин Д. В. Виртуальная среда обучения: состав и функции // Высшее образование в России. 2011. № 7. С. 113-118.
3. Байандин Д. В. Мультиплетная структура виртуальной среды обучения и технологизация учебного процесса // Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society). 2013. Т. 16. № 3. С. 465-488.
4. Байандин Д. В. Модульная педагогическая технология и вариант ее реализации на основе ресурсоизбыточной среды компьютерной поддержки обучения // Педагогическое образование в России. 2014. № 1. С. 214-220.
5. Байандин Д. В. Реализация концепции полнофункциональной предметно-ориентированной среды обучения // Образовательные технологии и общество. 2015. Т. 18. № 4. С. 574-601.
6. Байандин Д. В. Структурное представление знаний в электронных средствах образовательного назначения // Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society). 2014. Т. 17. № 2. С. 388-402.
7. Еремин Е. А. Экспериментальная оценка усвоения студентами основных понятий учебного курса // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. 2012. № 8. С. 17-26.
8. Зенцова И. М., Оспенникова Е. В. Домашний экспериментальный практикум по физике как форма учебных занятий и особенности его организации с применением средств ИКТ // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. 2014. № 9. С. 64-72.
9. Матрос Д. Ш., Колбин Р. В., Боровская Е. В. Педагогический мониторинг и дистанционный лицей на основе электронной модели учебного материала // Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society). 2004. Т. 7. № 2. С. 213-235.
10. Мухин О. И., Мухин К. О., Полякова О. А. Среда проектирования, технологии обучения и модели знаний // Открытое и дистанционное образование. 2010. № 1. С. 54-58.
11. Оспенникова Е. В. Использование ИКТ в преподавании физики в средней общеобразовательной школе : методическое пособие. М. : Бином. Лаборатория знаний, 2011.
12. Оспенникова Е. В. Электронный учебник. Каким ему быть? // Наука и школа. 2004. № 2. С. 18-25.
13. Роберт И. В. Толкование слов и словосочетаний понятийного аппарата информатизации образования // Информатика и образование. 2004. № 5. С. 22-29 ; № 6. С. 63-69.
14. Усольцев А. П., Шамало Т. Н. О понятии «инженерное мышление» // Формирование инженерного мышления в процессе обучения : материалы международной научно-практической конференции / отв. ред. Т. Н. Шамало. Екатеринбург, 2015. С. 3-9.
15. Усольцев А. П., Шамало Т. Н. Понятие инновационного мышления // Педагогическое образование в России. 2014. № 1. С. 94-98.

R E F E R E N C E S

1. Ageev V. N., Drevis Yu. G. Elektronnyye izdaniya uchebnogo naznacheniya: kontseptsii, sozdanie, ispol'zovanie : uchebnoe posobie / pod red. Yu. G. Drevisa. M. : MGUP, 2003.
2. Bayandin D. V. Virtual'naya sreda obucheniya: sostav i funktsii // Vysshee obrazovanie v Rossii. 2011. № 7. S. 113-118.
3. Bayandin D. V. Multipl'naya struktura virtual'noy sredy obucheniya i tekhnologizatsiya uchebnogo protsesssa // Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo (Educational Technology & Society). 2013. T. 16. № 3. S. 465-488.
4. Bayandin D. V. Modul'naya pedagogicheskaya tekhnologiya i variant ee realizatsii na osnove resursoizbytochnoy sredy komp'yuternoy podderzhki obucheniya // Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii. 2014. № 1. S. 214-220.
5. Bayandin D. V. Realizatsiya kontseptsii polnofunktsional'noy predmetno-orientirovannoy sredy obucheniya // Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo. 2015. T. 18. № 4. S. 574-601.
6. Bayandin D. V. Strukturnoe predstavlenie znaniy v elektronnykh sredstvakh obrazovatel'nogo naznacheniya // Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo (Educational Technology & Society). 2014. T. 17. № 2. S. 388-402.
7. Eremin E. A. Eksperimental'naya otsenka usvoeniya studentami osnovnykh ponyatiy uchebnogo kursa // Vestnik Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Informatsionnye

комп'ютерные технологии в образовании. 2012. № 8. С. 17-26.

8. Zentsova I. M., Ospennikova E. V. Domashniy eksperimental'nyy praktikum po fizike kak forma uchebnykh zanyatiy i osobennosti ego organizatsii s primeneniem sredstv IKT // Vestnik Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Informatsionnye komp'yuternye tekhnologii v obrazovanii. 2014. № 9. С. 64-72.

9. Matros D. Sh., Kolbin R. V., Borovskaya E. V. Pedagogicheskiy monitoring i distantsionnyy litsey na osnove elektronnoy modeli uchebnogo materiala // Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo (Educational Technology & Society). 2004. Т. 7. № 2. С. 213-235.

10. Mukhin O. I., Mukhin K. O., Polyakova O. A. Sreda proektirovaniya, tekhnologii obucheniya i modeli znaniy // Otkrytoe i distantsionnoe obrazovanie. 2010. № 1. С. 54-58.

11. Ospennikova E. V. Ispol'zovanie IKT v prepodavanii fiziki v sredney obshcheobrazovatel'noy shkole : metodicheskoe posobie. М. : Binom. Laboratoriya znaniy, 2011.

12. Ospennikova E. V. Elektronnyy uchebnik. Kakim emu byt'? // Nauka i shkola. 2004. № 2. С. 18-25.

13. Robert I. V. Tolkovanie slov i slovosochetaniy ponyatiynogo apparata informatizatsii obrazovaniya // Informatika i obrazovanie. 2004. № 5. С. 22-29 ; № 6. С. 63-69.

14. Usol'tsev A. P., Shamalo T. N. O ponyatii «inzhenernoe myshlenie» // Formirovanie inzhenernogo myshleniya v protsesse obucheniya : materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii / otv. red. T. N. Shamalo. Ekaterinburg, 2015. С. 3-9.

15. Usol'tsev A. P., Shamalo T. N. Ponyatie innovatsionnogo myshleniya // Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii. 2014. № 1. С. 94-98.

Статью рекомендует д-р пед. наук, проф. А. П. Усольцев.