

## УЧЕБНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИМУЛЯЦИИ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Антонова Д.А.<sup>1</sup>, Оспенникова Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, e-mail: d-antonova@bk.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет», Пермь, e-mail: evos@bk.ru

**В статье рассматривается проблема разработки учебных компьютерных симуляций как метода познания и средства обучения. Предметом обсуждения являются компьютерные симуляции физического эксперимента. Ставится задача обоснования целесообразности применения в обучении компьютерных симуляций данного вида. Выполнен ретроспективный анализ научно-методических подходов к созданию компьютерных симуляций физического эксперимента и практики их использования в учебном процессе. Обсуждается содержание цифровых образовательных ресурсов для средней общеобразовательной школы, включающих интерактивные компьютерные модели физических опытов. Дана оценка их методологического и дидактического назначения. Исследуются особенности интерфейса данных моделей. Указаны его основные характеристики, которые с точки зрения теории компьютерной визуализации дают интегральный для восприятия эффект, определяемый как малое когнитивное расстояние. Поставлена и решается задача моделирования системы дидактических и методологических функций компьютерных симуляций как регулятивной основы их разработки и применения в учебном познании. При проектировании компьютерных симуляций физического эксперимента необходимо в комплексе учитывать их дидактический и методологический функционал. Состав функций компьютерной симуляции формируется в соответствии с ее основным назначением и определяет сложность ее проектирования средствами виртуальной среды.**

Ключевые слова: теория и методика обучения физике, цифровые образовательные ресурсы, моделирование, компьютерные симуляции физического эксперимента.

## TRAINING COMPUTER SIMULATIONS OF PHYSICAL EXPERIMENT

Antonova D.A.<sup>1</sup>, Ospennikova E.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Perm State National Research University, Perm, e-mail: d-antonova@bk.ru;

<sup>2</sup>Perm State Humanitarian Pedagogical University, Perm, e-mail: evos@bk.ru

**The article discusses the problem of developing educational computer simulations as a method of cognition and a teaching tool. The subject of discussion is computer simulations of a physical experiment. The task is to substantiate the feasibility of using computer simulations of this type in teaching. A retrospective analysis of scientific and methodological approaches to the creation of computer simulations of a physical experiment and the practice of their use in the educational process is carried out. The content of digital educational resources for secondary schools, including interactive computer models of physical experiments, is discussed. An assessment of their methodological and didactic purpose is given. The features of the interface of these models are investigated. Its main characteristics are indicated, which, from the point of view of the theory of computer visualization, give an integral effect for perception, defined as a small cognitive distance. The problem of modeling the system of didactic and methodological functions of computer simulations as a regulatory basis for their development and application in educational cognition is posed and solved. When designing computer simulations of a physical experiment, it is necessary to take into account their didactic and methodological functionality in a complex. The composition of the functions of computer simulation is formed in accordance with its main purpose and determines the complexity of designing a simulation using a virtual environment.**

Keywords: theory and methods of teaching physics, digital educational resources, modeling, computer simulations of a physical experiment.

Компьютерные модели – относительно новая разновидность средств обучения. Их число и видовое разнообразие в цифровой образовательной среде быстро нарастало с конца 90-х гг. прошлого столетия. В настоящее время большинство цифровых ресурсов для средней и высшей школы включают такие модели (статичные и динамические, демонстрационные и интерактивные). Наибольшую ценность имеют интерактивные динамические модели.

Средствами динамического компьютерного моделирования – *компьютерными симуляциями* (от англ. computer simulation) – могут быть представлены в виртуальной среде разные элементы предметного знания, в том числе физический эксперимент (ФЭ). Однако среди профессиональных физиков компьютерные симуляции эксперимента вызывают неприятие. Утверждается, что лабораторные работы учащиеся должны выполнять исключительно с использованием реального оборудования. Вопреки этим возражениям интерактивные виртуальные модели лабораторных экспериментов создаются и весьма востребованы в педагогической практике. Является актуальной для анализа в этой связи проблема дидактического назначения виртуальных моделей ФЭ и их места в учебном познании.

Цели исследования: обосновать целесообразность применения интерактивных компьютерных симуляций физического эксперимента в обучении, систематизировать и обобщить представления об их дидактических и методологических функциях.

### **Материалы и методы исследования**

Теоретико-методологическую основу исследования составили работы в области общей и специальной методологии науки, теории и практики компьютерного моделирования, основ теории компьютерной визуализации, теории и методики обучения физике с применением цифровых ресурсов. *Методы исследования:* ретроспективный анализ цифровых образовательных ресурсов, изучение педагогического опыта их использования в обучении, систематизация и обобщение педагогических фактов, анализ научно-методических подходов к созданию учебных компьютерных симуляций, моделирование системы дидактических и методологических функций компьютерных симуляций физического эксперимента как регулятивной основы их разработки и применения в учебном познании.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Компьютерная симуляция (КС) как метод познания представляет собой реализуемый на компьютере математический эксперимент, в котором в качестве модели используется система уравнений, описывающая исследуемое явление (объект, процесс). Данный эксперимент основан, как правило, на численном решении поставленной задачи и поэтому определяется как компьютерный численный эксперимент.

Разработке на компьютере симуляций физических экспериментов предшествовало создание симуляций, предназначенных для изучения различных физических объектов и процессов. Первые ресурсы этого типа появились в 90-х гг. (С.М. Козел, Е.И. Бутиков, О.И. Мухин, Д.В. Баяндин, А.С. Чирцов) в формате компьютерной анимации. Следом стали создаваться интерактивные компьютерные симуляции физических явлений, в том числе тех, которые невозможно было продемонстрировать в школьной лаборатории.

Позднее, в первом десятилетии 2000-х гг., началась разработка симуляций нового типа – модельных конструкторов, в которых можно было изменять не только значения параметров моделируемой системы, но и состав ее объектов, а также конструировать из готовых элементов новые модели (без программирования) [1; 2]. Наиболее ярко это направление разработки КС было представлено в ресурсе «Виртуальная физика» (активная обучающая среда, Д.В. Баяндин, О.И. Мухин и др., Пермь.: РЦИ. ПГТУ. 1998–2005) [3, с. 41]. Конструирование моделей из готовых элементов открывало значительные перспективы в организации исследовательской работы учащихся в области компьютерного моделирования. Но, к сожалению, в массовой школьной практике «режим конструирования» оказался невостребованным, поскольку требовал от учителя серьезной методической подготовки и дополнительных временных затрат для разработки на базе конструкторов конкретных лабораторных заданий. Использовались в основном «готовые» модели, на которых учащимися выполнялись сбор данных, их анализ и интерпретация.

Подходы к применению в учебной практике КС физических явлений обсуждаются в этот период, прежде всего, в контексте их взаимосвязи с реальным физическим экспериментом (А.С. Кондратьев, Д.Ф. Терегулов, С.Е. Попов, Е.И. Постникова, М.И. Старовиков, А.С. Чирцов др.). Подчеркивается важность соотнесения результатов численного моделирования (компьютерной симуляции) с характеристиками целевой системы (свойствами физических объектов), которые фиксируются в опытах. А.С. Чирцовым рассматривается объединение реального и модельного экспериментов в форме выполнения «гибридных работ», включающих экспериментальные измерения в лаборатории с последующим численным моделированием изучаемого процесса с целью выбора теоретических моделей, наиболее адекватно его описывающих. Выполнение таких работ рассматривается как средство подготовки обучающихся к лабораторному эксперименту и привлечения к научно-исследовательской работе в области численного моделирования [2, с. 28]. В более широком контексте взаимосвязь численного и физического экспериментов рассматривается в работах С.Е. Попова и Д.Ф. Терегулова. Авторы вводят определение «*натурно-вычислительного эксперимента*» как самостоятельного метода обучения физике, основанного на интеграции лабораторного эксперимента и компьютерного моделирования [4, с. 63]. Обсуждаются разные способы интеграции (параллельное и последовательное выполнение, смешанный натурно-вычислительный эксперимент). По мнению авторов, такой подход позволяет расширить границы натурального исследования. Изменяя параметры численной модели, начальные и граничные условия моделирования, можно исследовать характерные особенности исследуемого объекта и его поведение в разнообразных ситуациях. В работе Д.Б. Баяндина [3, с. 41] выделены уровни численного моделирования: 1) исследование «готовой» модели; 2)

конструирование модели из готовых элементов с последующим исследованием; 3) самостоятельная разработка модели и ее исследование. Во всех случаях результаты моделирования (вычислительного эксперимента) сравниваются с данными физического эксперимента. Автор обосновывает необходимость организации специального модельного практикума во взаимосвязи с выполнением учащимися физических опытов в школьной лаборатории.

В этот же период (первое десятилетие 2000-х) компьютерные симуляции стали использоваться с целью создания виртуальных лабораторных работ. По мнению А.С. Чирцова, такие симуляции экспериментальных установок концептуально близки к электронным конструкторам виртуальных физических систем. Отличаются лишь их методические функции: «...первый тип ресурсов представляет собой электронный аналог экспериментальной деятельности, второй – теоретической» [2, с. 13]. Д.В. Баяндин тоже указывает на возможность создания компьютерных симуляций, аналогичных традиционным лабораторным работам, но лишь в том случае, если их основу составит сложная система уравнений, частные случаи решения которой не очевидны и могут быть получены только в ходе численного моделирования [3, с. 36]. Автором подчеркивается полезность таких симуляций с точки зрения приобретения учащимися нового знания в форме прогноза поведения исследуемой системы, отмечается наряду с этим достоинство виртуальных экспериментов и как средства наглядности. Обосновывается идея создания на базе данных КС специальных цифровых ресурсов – *интерактивных тренажеров* для отработки у учащихся отдельных экспериментальных умений (как средства подготовки к лабораторным занятиям) [3, с. 42].

Практически параллельно данным исследованиям создаются электронные учебные пособия для средней школы, включающие интерактивные модели традиционных лабораторных работ по физике (Виртуальные работы по физике. 7-9 классы. «Новый диск», 2007; Лабораторные работы по физике. 7–11 класс. «Дрофа», ООО «Квazar», 2006; Физика. Интерактивные лабораторные работы, 7–11 класс. ООО «Физикон», 2007 и др.). Несмотря на весьма упрощенный в данных ресурсах подход к разработке симуляций физических опытов, они оказались востребованными в учебном процессе. Как нам представляется, дидактическая привлекательность этих моделей состояла, прежде всего, в том, что они были выполнены в соответствии с учебной программой по физике средней школы и включали базовые лабораторные задания. Являлась простой система управления моделями. Использовался однозначный сценарий, включающий небольшое число этапов экспериментальной работы. Визуальный ряд виртуальной учебной сцены находился в достаточном соответствии с образом реальной лабораторной установки. Интерфейс таких симуляций, как правило, обладал набором характеристик, которые с точки зрения теории компьютерной визуализации давали

интегральный эффект, определяемый как малое *когнитивное расстояние*. Напомним, что когнитивное расстояние интерфейса измеряется усилиями пользователя по преобразованию действий и образов виртуального пространства в действия и объекты реальной исследуемой области. Уменьшение этого расстояния достигается понятной для восприятия пользователем «*метафорой визуализации*» (ее образности, четкого фокуса, ясно предписываемых манипуляций с визуальными объектами), «*диалоговой выразительностью*» (минимальным числом действий для получения результата) и «*однородностью интерфейса*» (степенью однообразия действий) [5]. Есть основание предполагать, что указанные модели лабораторных экспериментов в полной мере удовлетворяли этим условиям. Однако анализ их качества в методологическом плане показывает, что как компьютерные симуляции они достаточно несовершенны и ничем принципиально не отличаются по осваиваемым процедурам от реальных лабораторных работ. В этом смысле их «*дидактический выход*» невысок (иллюстрация к эксперименту, средство повторения учебного материала... не более), и негативное отношение профессиональных физиков к таким моделям физических опытов по этой причине вполне понятно.

Рассмотренные ранее технологически более совершенные компьютерные симуляции, построенные на сложных математических моделях физических явлений, далеко не всегда имели интерфейсы с оптимальным для учащихся когнитивным расстоянием. В ряде случаев трудности в работе с данными моделями и модельными конструкторами испытывали даже учителя физики. При этом возможный дидактический эффект и связанное с самой сутью этих моделей их методологическое назначение (освоение компьютерного моделирования как метода познания) чрезвычайно высоки.

Представляется целесообразным обеспечение оптимального сочетания в едином программном продукте указанных выше достоинств различных подходов к разработке компьютерных симуляций физического эксперимента. Одним из перспективных вариантов такого сочетания могут стать симуляции ФЭ, выполненные с применением элементов виртуальной реальности. Близкая к фотореалистичной отрисовка 3D-модели экспериментальной установки, квазиреалистичные действия с ее интерактивными элементами, модель планшета на лабораторном столе с необходимыми для самостоятельной работы дидактическими материалами позволяют учащемуся не просто наблюдать за происходящим на рабочем столе, а частично погрузиться в мир виртуальной лаборатории [6, с. 29]. Мы получаем в этом случае некое подобие иммерсионной симуляции (от англ. *immersion* – присутствие). Благодаря совершенной математической модели такой симуляции обеспечивается достижение разнообразных целей обучения. Это может быть ориентированная на изучение физических закономерностей и освоение ряда практических умений

репродуктивная лабораторная работа, но с достаточным по объему набором данных для их обработки, систематизации и методологически обоснованного обобщения. Возможен измерительный эксперимент с функционалом тренажера. Реализуемым является на основе таких КС исследование различных режимов работы экспериментальной установки и особенностей протекания воспроизводимого на ней явления (первый этап компьютерного моделирования) с последующей проверкой полученных результатов в реальном физическом эксперименте.

### **Выводы**

При проектировании компьютерных симуляций физического эксперимента необходимо в комплексе учитывать их методологические и дидактические функции. Анализ теоретических решений и практических подходов к разработке КС физического эксперимента позволил нам уточнить и систематизировать данные функции.

Методологический функционал компьютерной симуляции в обучении (независимо от объекта симуляции) определяется:

1) ее важностью в методологическом аппарате науки как самостоятельного метода исследования, обеспечивающего:

*а) расширение исследовательского поля и функциональной составляющей процесса познания:*

- исследование явления в чистом виде с точным воспроизведением требуемых условий протекания;
- изучение явления в динамике (наблюдение его развития в пространстве и времени, в том числе с изменением пространственно-временных масштабов протекания);
- изменение (расширение) границ численных значений условий проведения эксперимента и характеристик исследуемых объектов и процессов; безопасность таких изменений в сравнении с реальным экспериментом;
- многократное повторение эксперимента с варьированием условий и характеристик исследуемого явления с целью формирования необходимого объема данных для их последующих систематизации и обобщения;
- проведение эксперимента в случаях, когда это сделать в лаборатории невозможно или затруднительно (высокая сложность постановки, необходимость применения дорогостоящего или уязвимого оборудования);
- возможность постановки и решения на модели задач разных типов (параметрических, структурных, на достижение состояний, на построение и др.);
- графическая репрезентация разными способами результатов моделирования, обеспечивающая их анализ и интерпретацию;

*б) реализацию комплекса гносеологических функций* (аппроксимационной, эвристической, прогностической, трансляционной [3, с. 32]), следствием которой являются новые знания:

- значения численных характеристик объекта исследования в широком

диапазоне границ; • закономерные связи (структурные, функциональные и др.), выявленные на основе систематизации и обобщения численных данных; • теоретические гипотезы относительно сущности (механизма) изучаемых явлений;

2) взаимосвязью с физическим экспериментом как источником количественных данных, необходимых для проектирования численного эксперимента, с одной стороны, и как средством проверки истинности гипотез, выдвинутых в ходе моделирования, – с другой;

3) необходимостью осознания учащимися ценности данного метода и возможностью его освоения на разных уровнях:

а) *исследование поведения «готовой» компьютерной симуляции* (этап самостоятельного моделирования численного эксперимента отсутствует);

б) *проектирование новой модели из базовых элементов* (упрощенная версия моделирования на основе работы с учебным конструктором);

в) *самостоятельное численное моделирование* (постановка задачи, разработка ее математической модели, реализация средствами какой-либо моделирующей среды, выполнение численного эксперимента, сравнение с физическим экспериментом, корректировка модели при необходимости);

4) необходимостью интеграции при его использовании методов и технологий исследования, применяемых в разных предметных областях научного знания (физика, математика, информатика, общая и специальная методология науки), что существенно расширяет поле методологической подготовки учащихся.

Дидактические функции *компьютерных симуляций физического эксперимента* определяются возможностью:

1) *применения дополнительных средств реализации принципа наглядности в обучении:*

а) представление работы экспериментальной установки и изучаемого на ней явления в динамике; б) акцентирование с помощью компьютерной графики и эффектов мультимедиа внимания учащихся на главном, существенном в устройстве и работе экспериментальной установки, а также в исследуемом на ней явлении; в) изучение за счет средств визуализации сложных явлений на уровне, доступном пониманию без обращения к громоздкому математическому описанию; г) визуализация мысленных экспериментов; д) создание визуальных реконструкций исторического эксперимента;

2) *использования дополнительных технологий предъявления и отработки процессуальной составляющей экспериментального метода познания, активизации учебной деятельности данного вида, обеспечения ее разнообразия:* а) освоение логики экспериментального исследования с достаточным для этого объемом экспериментальных данных, формирование обобщенных экспериментальных умений; б) изучение и освоение

методов выполнения конкретных физических экспериментов, действий и операций в их составе (тренаж); в) изучение устройства и принципа работы приборов, правил их использования, способов применения в конкретном эксперименте (тренаж); г) увеличение числа лабораторных экспериментов и обеспечение разнообразия их видов; д) предъявление экспериментальных заданий разной сложности, включая задания олимпиадного характера; е) формирование начальных представлений о компьютерных симуляциях как самостоятельном методе познания;

3) *реализации автоматизированного управления познавательной деятельностью учащихся по выполнению эксперимента*, в том числе ее *контроля* (текущего, итогового) и *индивидуализации обучения* (формирования индивидуальных маршрутов работы над экспериментальными заданиями).

При разработке учебных компьютерных симуляций физического эксперимента набор необходимых функций определяется назначением симуляции. Соответственно составу функций проектируются базовая математическая модель симуляции и алгоритмы ее реализации в виртуальной среде.

### Список литературы

1. Баяндин Д.В. Моделирующие системы как средство развития информационно-образовательной среды (на примере предметной области "физика"). Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-та, 2007. 329 с.
2. Чирцов А.С. Методы и средства автоматизации разработки электронных образовательных ресурсов для вариативного изучения физики: автореф. дис. ... докт. тех. наук. Санкт-Петербург, 2014. 40 с.
3. Баяндин Д.В. Динамические интерактивные модели для поддержки познавательной деятельности учащихся // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. 2009. № 5. С. 30–44.
4. Попов С.Е. Теоретические аспекты формирования готовности будущих учителей физики к проведению натурно-вычислительных экспериментов // Педагогическое образование в России. 2019. № 1. С. 61– 67.
5. Авербух В.Л. Семиотика и основания теории компьютерной визуализации // Философские проблемы информационных технологий и киберпространства. 2013. № 1 (5). С. 26–41.



б. Антонова Д.А. Оспенникова Е.В., Спирин Е.В. Цифровая трансформация системы образования. Проектирование ресурсов для современной цифровой учебной среды как одно из ее основных направлений // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия «Информационные компьютерные технологии в образовании». 2018. № 14. С. 5–37.