

СТРАТЕГИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 378.016:53:004
ББК ВЗр+Ч448.026.63

DOI 10.26170/2079-8717_2021_06_02
ГРНТИ 14.35.07

Код ВАК 13.00.02 (5.8.2)

Антонова Дарья Андреевна,

преподаватель кафедры английского языка и межкультурных коммуникаций, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: d-antonova@bk.ru

Оспенникова Елена Васильевна,

доктор педагогических наук, профессор кафедры прикладной информатики, информационных систем и технологий, Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет; 614990, Россия, г. Пермь, ул. Пушкина, 42; e-mail: evos@bk.ru

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИМУЛЯЦИИ УЧЕБНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ И ДИДАКТИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ОБУЧЕНИИ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: методика преподавания физики; физика; физические эксперименты; цифровые образовательные ресурсы; информационные технологии; компьютерные симуляции; физические эксперименты; методологический аспект; дидактический аспект.

АННОТАЦИЯ. В данной статье рассматривается проблема применения в учебной деятельности компьютерных симуляций физического эксперимента. Актуальность исследования определяется необходимостью более глубокого анализа их дидактических и методологических функций. Основное внимание уделено обсуждению методологического аспекта использования данных симуляций в обучении. С этой целью авторы обращаются к анализу математического эксперимента как метода познания, реализуемого на компьютере. Обсуждается проблема определения термина «компьютерная симуляция научного эксперимента» с позиции природы данного феномена. Рассматриваются сложившиеся в философии подходы к ее решению. Согласно одному из подходов («behavior viewpoint») ведущей характеристикой компьютерных симуляций является продуцирование новых знаний. Это самостоятельный «гибридный» метод исследования, источник новых гипотез и теорий. На основе этого подхода уточнено методологическое и дидактическое назначение учебных компьютерных симуляций физического эксперимента. Дана характеристика их некоторых видов, показана связь с реальным экспериментом, выполняемым на физическом оборудовании.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Антонова, Д. А. Компьютерные симуляции учебного физического эксперимента: методологический и дидактический аспекты применения в обучении / Д. А. Антонова, Е. В. Оспенникова. – Текст : непосредственный // Педагогическое образование в России. – 2021. – № 6. – С. 13-23. – DOI: 10.26170/2079-8717_2021_06_02.

Antonova Darya Andreevna,

Lecturer of Department of the English Language and Intercultural Communication, Perm State National Research University, Perm, Russia

Ospennikova Elena Vasilievna,

Doctor of Pedagogy, Professor of Department of Applied Informatics, Information Systems and Technologies, Perm State Humanitarian Pedagogical University, Perm, Russia

COMPUTER SIMULATION OF EDUCATIONAL PHYSICAL EXPERIMENT: METHODOLOGICAL AND DIDACTICAL ASPECTS OF APPLICATION IN TEACHING

KEYWORDS: physics teaching method; physics; physical experiments; digital educational resources; information technology; computer simulations; physical experiments; methodological aspect; didactic aspect.

ABSTRACT. This article discusses the problem of using computer simulations of a physical experiment in educational practice. The relevance of the research is determined by the need for a deeper analysis of their didactic and methodological functions. The main attention is paid to the discussion of the methodological aspect of using these simulations in teaching. For this purpose, the authors turn to the analysis of a mathematical experiment as a method of cognition implemented on a computer. The problem of defining the term “computer simulation of a scientific experiment” from the standpoint of the nature of this phenomenon is discussed. The approaches to its solution that have been developed in philosophy are considered. According to one of the approaches (“behavior viewpoint”), the leading characteristic of computer simulations is the production of new knowledge. It is an independent “hybrid” research method, a source of new hypotheses and theories. On the basis of this approach, the methodological and didactic purpose of educational computer simulations of a physical experiment has been clarified. The characteristic of some of their types is given, the connection with a real experiment, carried out on physical equipment, is shown.

FOR CITATION: Antonova, D. A., Ospennikova, E. V. (2021). Computer Simulation of Educational Physical Experiment: Methodological and Didactical Aspects of Application in Teaching. In *Pedagogical Education in Russia*. No. 6, pp. 13-23. DOI: 10.26170/2079-8717_2021_06_02.

Необходимость применения в обучении компьютерных моделей учебного физического эксперимента – один из давних предметов многочисленных дискуссий в научно-методическом сообществе. Практически во всех публикациях, касающихся проблемы включения в учебный процесс моделей этого вида, авторы так или иначе высказывают свою позицию в отношении ее возможных решений. Часть из них по-прежнему отвергает данное средство обучения. Очевидно, что решение этого вопроса не может быть столь однозначным.

Справедливо утверждение, что накал противостояния в данных дискуссиях определяется в значительной степени тем, что «... речь о компьютерных моделях ведется как о некотором однородном множестве», тогда как данные модели, безусловно, имеют разновидности и соответственно разный познавательный потенциал [3, с. 35]. В работах [3; 4; 5] предпринята попытка уточнить видовое разнообразие компьютерных моделей и продемонстрировать их место в структуре научного и учебного познания. Настоящая статья подготовлена в рамках дальнейшего развития этого подхода в решении обозначенной проблемы.

На каждом этапе цифровой трансформации системы образования вопросы теории и практики применения в обучении компьютерных симуляций физического эксперимента рассматриваются в обновленном контексте и на новых уровнях глубины их анализа. В настоящее время представляется актуальным исследование дидактического назначения симуляций данного вида во взаимосвязи с их методологическим статусом. Обсуждение компьютерных симуляций как метода познания и уточнения на этой основе методологической значимости их использования в учебной деятельности позволит расширить наши представления о дидактических функциях симуляций физического эксперимента (ФЭ).

Начало обсуждения целесообразно связать с определением видов эксперимента как метода познания. Научный эксперимент на настоящем этапе его развития реализуется в следующих видах: 1) *натурный* или *лабораторный эксперимент* (наблюдение и исследование явления в природных или специально создаваемых и точно учитываемых условиях); 2) *аналоговый эксперимент*: натурный, лабораторный (наблюдение и изучение явления иной природы, чем исследуемое, но имеющего одинаковое с ним математическое описание); 3) *модельный эксперимент*, средством и объек-

том исследования в котором является заменяющая оригинал модель.

Модельный эксперимент, в свою очередь, имеет подвиды: 1) *предметно-модельный*, в котором исследование ведется на модели, воспроизводящей определенные геометрические, физические, динамические или функциональные характеристики объекта-оригинала; 2) *знаково-символический*: а) математический, выполняемый с математической моделью объекта исследования; б) мысленный, осуществляемый в воображении и основанный на замене знаков или операций над ними наглядными представлениями; в) модельно-кибернетический, в котором моделируется и исследуется алгоритм (программа) функционирования изучаемого объекта.

Предметом анализа в настоящей статье является *модельный физический эксперимент*, в частности *математический*, предназначенный для использования в учебном процессе в средней школе.

Компьютерные симуляции как метод научного познания. В области физики моделирование рассматривается как «... метод экспериментального исследования, основанный на замещении конкретного объекта эксперимента (образца) другим, ему подобным (моделью). Моделирование применяется в тех случаях, когда целью исследования является не выяснение общих физических закономерностей, а детальное изучение вполне конкретного процесса, развивающегося в системе с определенными геометрическими и физическими свойствами при заданных режимных условиях» [7]. Если этот процесс реализуется на компьютере, то мы имеем дело с *компьютерным моделированием* или *компьютерной симуляцией* (от англ. computer simulation). Различают статичные модели, характеризующие исследуемый объект в определенный момент времени, и динамические, демонстрирующие его временную эволюцию.

В математическом эксперименте как разновидности модельного в качестве модели используется система уравнений, описывающая исследуемое явление (объект, процесс). Данный эксперимент основан на численном решении системы уравнений. Наиболее значимые результаты применения этого метода стали возможными при его реализации на ЭВМ, обладающих значительным вычислительным потенциалом и развитым графическим инструментарием. В связи с этим данный вид эксперимента стали называть машинным или *компьютерным численным экспериментом*.

История развития математического эксперимента как метода исследования насчитывает почти столетие. Считается, что первый вычислительный эксперимент с применением оборудования для перфокарт был выполнен астрономом Л. Дж. Комри в 1928 г. Современные методы и технологии выполнения численного эксперимента несравнимо более совершенны. Однако есть общее между этими экспериментами, разделенными почти столетием. И в том и в другом случае используются «... вычислительные модели, имитирующие поведение целевой системы (*исследуемой системы* – коммент. Д.А.) и способные быть рассчитанными на машинах» (J. M. Duran) [10].

В ходе численного моделирования система уравнений, определяющая поведение объекта исследования, может быть заменена на другую ей подобную. Возможно включение в эту систему дополнительных уравнений, поскольку из-за ограниченности наших знаний о природе система может оказаться незамкнутой. Это делается для того, чтобы применяемые численные методы в итоге позволяли получить искомое решение, работали корректно, а решение поставленной математической задачи давало достаточные по точности результаты. Построенную таким образом математическую модель называют *имитационной*. Большинство моделей, используемых в компьютерном математическом эксперименте, – это *имитационные динамические модели*.

Лежащие в основе метода компьютерных симуляций имитационные модели, как правило, очень сложны. Х. М. Дуран в своей работе «Что такое имитационная модель?», говоря о сложности их архитектуры, отмечает наличие в них большого числа алгоритмических структур, форм представления информации и семантических связей. Данные модели требуют особых методов их проектирования и конструирования. Это разработка и поиск методов совместимости и правильной интеграции баз данных, множества разных моделей, алгоритмов, технологий визуализации и других составляющих «... в единой имитационной модели для ее реализации в качестве полнофункционального компьютерного моделирования» [11].

Особенностью численного эксперимента является то, что полученные результаты действительны только для случая, соответствующего конкретным условиям выполнения исследования (заданным аргументам). При их изменении численное решение необходимо выполнять заново. Такое решение для каждого конкретного набора условий его реализации равноценно физическому эксперименту. Именно поэтому численное моделирование называют *математическим экспериментом* [6, с. 157].

Численное моделирование и реальный физический эксперимент имеют и другие общие черты. Такой эксперимент, как и реальный, планируется. Экспериментальной установкой выступает компьютер как физический объект, а исследуемое явление заменяется его математическим описанием (моделью). Данное описание включает не все, а наиболее существенные характеристики исследуемого явления. Задаются условия проведения эксперимента (как правило, это данные физических экспериментов). Результатом исследования являются численные значения конкретных параметров изучаемого явления. Имитационные модели обрабатывают множество значений таких параметров и обладают репрезентативными возможностями. С этой целью используются разные способы визуализации результатов моделирования. Данные численного эксперимента анализируются, интерпретируются и могут подлежать последующему обобщению, в итоге делаются выводы о свойствах реального объекта или особенностях протекания исследуемого процесса. Если математическая модель построена некорректно, то полученное решение может не совпадать с физическим экспериментом. В этом случае математическое описание явления подлежит доработке или изменению.

Первоначально математические модели явлений и технологии их численного расчета с применением компьютера рассматривались не более чем просто составляющие метода решения сложной математической задачи. Однако в последние несколько десятилетий благодаря значительным (исключительным!) достижениям применения численного эксперимента в различных областях научного знания ему стали уделять особое внимание в исследованиях, касающихся философии науки и методологии научного поиска. Поставлена и обсуждается проблема определения собственно термина «*компьютерная симуляция научного эксперимента*» с позиции природы данного феномена.

Результаты использования компьютерных симуляций связываются не только с получением конкретных расчетных данных, но и с прогнозированием поведения исследуемых систем, а также с построением (корректировкой) теоретического знания, объясняющего данное поведение. Считается, что термин «*компьютерная симуляция*» (КС) претендует на новое для философии науки эпистемологическое значение. В связи с этим осуществляются попытки выявить существенные особенности симуляций этого вида. Идет процесс изучения природы экспериментальных данных, полученных в ре-

зультате компьютерного моделирования «... как переноса следов численного эксперимента из графематического пространства в репрезентативное». Развитие «... вычислительных технологий заставляет пересматривать сущностную роль компьютерных симуляций в современной философии науки с позиции одной из форм динамического математического моделирования к новому, не имеющего аналогов, источнику знаний, формируемого способами, недоступными когнитивным возможностям человека в силу природы антропологических ограничений, ...источнику новых гипотез и теорий через новые методы экспериментирования» [9, с. 167].

Важно отметить, что единое мнение в философии науки относительно природы симуляций как феномена современной практики экспериментальных исследований пока отсутствует. Выделяют *проблемно-решающий* (англ. *problem-solving viewpoint*) и *поведенческий* (англ. *behavior viewpoint*) подходы к решению вопроса о сущности феномена компьютерных симуляций. Обзор данных подходов представлен в работах Т. В. Хамдамова [8; 9].

В рамках первого подхода (*problem-solving viewpoint*) сущностную функцию компьютерных симуляций связывают со значительным расширением исследовательского поля за счет применения нового инструментария – автоматизированных вычислительных систем, обеспечивающих решение сложных задач с большим числом переменных, которое ранее было невозможно получить традиционными аналитическими методами. Согласно данному подходу компьютерные симуляции рассматривают как неотъемлемую часть математических моделей, не связанных напрямую с научными экспериментами. В этом контексте необходимость КС как инструмента познания очевидна, но при этом не допускается их онтологическая (сущностная) самостоятельность как метода. Данный метод определяется следующим образом: «... компьютерные симуляции – это любой способ решения математических моделей с помощью применения вычислительных машин, решить которые аналитическими способами невозможно» (по П. Хамфрису) [12, с. 501]. Компьютерные симуляции при этом рассматриваются как динамические модели, меняющие свои статические состояния во времени по мере их вычисления на компьютере. Важно заметить вслед этому определению, что компьютерное моделирование используется и в тех случаях, когда аналитические методы решения поставленной задачи являются доступными. Это связано с тем, что численное решение в ряде случаев может быть проще в отноше-

нии затрачиваемых вычислительной мощности и времени расчета модели.

При анализе второго подхода (*behavior viewpoint*) в качестве главной отличительной особенности компьютерной симуляции выделяют более детальную и приближенную к реальному исследуемому объекту разработку ее описательной модели, а также применение более совершенных языков программирования и алгоритмов, реализующих вычислительные процессы симуляций. В этом случае ставится задача максимально точно воспроизвести свойства и функционал модели для повышения достоверности численного моделирования. Согласно данному подходу компьютерные симуляции имеют все признаки эксперимента как метода познания и не уступают в этом смысле ни натурной, ни его лабораторной версиям. Как справедливо отмечал М. Шубик еще в 1960 г., «... симуляция системы или организма – это операция модели или симулятора, которая представляет систему или организм. ...Работа модели может быть изучена, и, исходя из этого, могут быть выведены свойства, относящиеся к поведению реальной системы или ее подсистемы» [цит. по 9, с. 173]. Другими словами, за компьютерными симуляциями закрепляется «... свойство репрезентативности, которое являет собой качественное отличие от обычного вычисления математической модели» [9 с. 173]. Сторонники «поведенческого» подхода к анализу компьютерных симуляций, не отрицая сложность и важность собственно процесса вычислений математических моделей исследуемого объекта, все-таки их ведущей сущностной характеристикой определяют факт продуцирования в данном процессе информации, которая трансформируется в *новые знания* об объекте исследования. Й. Ленхард, последовательный сторонник второго подхода, обращает внимание на то, что компьютерные симуляции – «... это не просто один из видов математического эксперимента, а новый тип моделирования» [цит. по 8, с. 40]. По его мнению, симуляции нельзя отнести напрямую ни к методам теоретического познания, ни к классическому эксперименту. Ведется речь о *гибридной форме научного метода*, который применяется в работе симулятора вычислительной машины, а именно *смешение теоретической концепции и эксперимента над математической моделью, реализующей эту концепцию*. Построение на основе теоретической концепции математической модели и ее симуляция в форме численного эксперимента важны не только с точки зрения получения конкретных численных данных об исследуемом объекте. Компьютерные симуляции могут использоваться и с целью преоб-

разования данной модели на основе построения новых теоретических гипотез. Это значит, что для них актуален методологический и эпистемический аспекты обсуждения их сущности как специфического метода познания [8, с. 42].

Сторонники названных подходов по-разному смотрят и на процессы развития компьютерных симуляций как инструмента исследования. В первом случае акцент ставится на совершенствовании симуляций через улучшение технических характеристик компьютера (архитектуры, памяти, быстродействия и т. д.), обеспечивающих его высокую эффективность в решении сложных математических задач. Во втором случае внимание сосредоточено на качественном моделировании объекта (целевой системы) за счет построения его адекватной математической модели, изменения алгоритмов программного обеспечения, обновления вычислительных алгоритмов, введения поправок и т. д. (при этом, конечно же, не отрицается необходимость развития программно-аппаратного комплекса реализации симуляций).

Второй подход к анализу компьютерных симуляций представляется более убедительным. Действительно, полезность инструментальной составляющей вычислительного эксперимента не вызывает сомнений, но весьма значимой является и его познавательная функция.

Моделирование, как правило, применяется для исследования каких-либо конкретных явлений с целью определения особенностей их протекания. Результатом математического эксперимента являются, прежде всего, неизвестные численные характеристики исследуемых объектов и процессов, которые невозможно (или затруднительно) получить в физическом эксперименте или в ходе аналитического решения задачи. Графический инструментарий программной реализации компьютерных симуляций и различные методики построения изображений позволяют сделать результаты численного эксперимента наглядными (таблицы данных, графики, визуализация динамических структур объектов и их систем и др.), что обеспечивает возможности их более глубокого анализа и последующей интерпретации. Это позволяет приблизить данный эксперимент к аналитическому исследованию математической модели. Следствием этого являются систематизация и обобщение данных численного эксперимента, выявление закономерных связей (структурных, функциональных, атрибутивных, динамических, статистических и др.).

Результаты численного моделирования проверяются на достоверность. Среди способов этой проверки *главным является фи-*

зический эксперимент. В случае численного исследования модели, построенной с привлечением гипотез для замыкания недостающих связей в системе характеризующих ее уравнений, появляется возможность проверки данных гипотез. Сравнение результатов такого моделирования с результатами физического эксперимента приводит к объективно новому знанию, но уже имеющему другой научный статус – теоретический. Это могут быть новые представления (или уточнение уже известных) о механизме исследуемых процессов.

Из философского анализа *компьютерных симуляций*, как отмечает Х. М. Дуран, следует признание их сложной структуры и особой методологии. Разумно воздерживаться от обсуждения КС как простой реализации математической модели на физическом компьютере. Такой подход обедняет их природу и важность в методологическом аппарате науки, незаслуженно представляя в конечном итоге данные симуляции как средство, имеющее чисто инструментальную ценность [11].

В педагогических исследованиях (Д. В. Баяндин, Е. И. Бутиков, С. М. Козел, А. С. Кондратьев, О. И. Мухин, С. Е. Попов, Е. И. Постникова, М. И. Старовиков Д. Ф. Терегулов, А. С. Чирцов и др.) отчетливы тоже просматриваются «поведенческий» и «проблемно-решающий» подходы к интерпретации компьютерных симуляций и их применению в обучении. В этой связи представляется важным обсуждение методологического статуса учебной компьютерной симуляции с позиций «поведенческого» подхода («behavior viewpoint») к ее анализу.

Компьютерные симуляции в обучении. Модель в компьютерной симуляции должна быть подобна реальному исследуемому объекту, но при этом может не иметь с ним общих внешних признаков. Для научного познания это чаще всего несущественно, однако для учебных моделей визуальное подобие играет важную роль. По этой причине *учебные КС* наделяются разнообразным *дидактическим* функционалом.

Во-первых, в учебной сцене должен быть визуализирован объект симуляции. Если таким объектом является работа экспериментальной установки, то, следовательно, в рабочем поле симуляции должна быть представлена модель такой установки. Создается, как правило, и визуальный образ исследуемого на ней явления (объекта, процесса). Такая визуализация обычно содержит информацию о его существенных внешних признаках. Для мысленного эксперимента, который тоже может быть реализован средствами компьютерной симуляции, такими признаками являются внешние признаки вообра-

жаемых, в том числе идеальных, объектов. Дидактически целесообразна визуализация в компьютерных симуляциях тех изменений в исследуемых явлениях, которые недоступны для непосредственного восприятия в реальном физическом эксперименте. В случае модельно-кибернетического эксперимента (исследование алгоритма функционирования изучаемого объекта) полезна процедурная визуализация.

Во-вторых, в компьютерной симуляции ФЭ в доступной для восприятия учащимися визуальной форме отображаются текущие результаты численного эксперимента (таблицы данных, графики, диаграммы различных видов, динамические структуры объектов, распределение объектов в системе и др.).

В-третьих, в симуляциях этого вида уделяется большое внимание различным способам ввода информации как средству изменения параметров модели (т. е. «диалогу» исследователя с моделью), а также способам обработки результатов моделирования. Данные способы могут быть реализованы в виде визуально реалистичной имитации исследовательских действий и операций учащегося с элементами модели (например, манипуляций с визуальным образом исследуемого объекта, с таблицами данных, графиками, диаграммами, динамическими структурами объекта исследования и др.). Осуществляются на программном уровне и визуально отображаются результаты текущего и итогового контроля этих действий учащихся на предмет их корректности. Такой подход к формированию интерфейса учебных КС поддерживает процессы формирования и последующего закрепления у обучающихся предметных знаний (эмпирических, теоретических), а также целого ряда познавательных умений.

По результатам анализа совокупности перечисленных выше объектов моделирования не может не возникнуть представление о сложности учебной КС физического эксперимента, вбирающей в себя несколько взаимосвязанных динамических моделей, каждая из которых имеет в своей основе соответствующее математическое описание.

Представляют интерес основания классификации учебных компьютерных симуляций. К наиболее значимым из них, на наш взгляд, могут быть отнесены: 1) объект компьютерной симуляции; 2) способ реализации на компьютере; 3) цели применения в обучении [5, с. 344]. Соответственно данным основаниям определяются разновидности учебных КС.

По объекту моделирования различают компьютерные симуляции: а) явлений (объектов, процессов) природы; б) объектов

второй природы (технических объектов и их комплексов, а также реализуемых на них технологических процессов); в) идеализированных объектов, отображающих сущность физических теорий, в том числе объясняющих закономерности процессов микро- и макромира; г) объектов (а), (б), (в) с учетом взаимодействия пользователя с данными объектами (т. е. симуляцию их интерактивного функционала, интегрированную с операциями ввода данных).

По способу реализации выделяют компьютерные симуляции, построенные на основе: а) численного эксперимента с математической моделью явления; б) аналитического решения системы уравнений математической модели явления; в) компьютерной анимации (с широким спектром технологий реализации, в том числе с применением аналитического и (или) численного моделирования).

По назначению компьютерные симуляции могут быть объединены в две большие группы. Это КС, к дидактическим целям которых относятся: а) усвоение элементов «готового знания» (концептуального, процессуального); б) организация учебного исследования. В составе данных групп КС достаточно много подвидов симуляций. Их дифференциация осуществляется по структуре знаний и видам деятельности, включая виды учебного исследования.

При создании любой учебной симуляции разработчики исходят, прежде всего, из ее дидактического назначения и соответствующих ему требований к качеству результата моделирования. Из этих соображений формируется конкретный вид компьютерной модели, т. е. определяется ее фасетная формула.

Во всех случаях разработки учебных КС является важным визуальное отображение существенных признаков объектов моделирования. Для современных версий таких симуляций предпочтительно использование 3D-визуализаций и реалистичный интерфейс учебных сцен (если речь не идет об абстрактных – идеализированных – объектах). Необходимым, как отмечалось выше, является включение в учебную сцену симуляций взаимодействия пользователя с моделями, что имеет своим результатом создание *интерактивной компьютерной симуляции*. Квазиреалистичные манипуляции с элементами учебной сцены способствуют росту результативности формирования учебных действий и их последующему успешному переносу из виртуальной среды в реальную.

Согласно приведенной выше классификации могут быть составлены фасетные формулы различных КС и получено достаточно разнообразие их видов. В нашем

случае представляют интерес учебные компьютерные симуляции физического эксперимента.

Рассмотрим пример компьютерной симуляции ФЭ, разработанной на основе фасетной формулы «**1а-б-г, 2а, 3а**». Такая симуляция включает визуализацию установки физического эксперимента и исследуемого на ней явления, а также процедурную имитацию взаимодействия пользователя с элементами учебной сцены. Учащиеся для работы предлагается либо готовая модель установки в сборе, либо комплект оборудования к ней. Сборка установки из предложенного набора приборов выполняется пользователем самостоятельно. На основе данной модели организуется репродуктивная учебная работа по выполнению лабораторного задания. В ходе эксперимента учащиеся взаимодействуют с элементами виртуальной учебной сцены. Порядок их действий определяется инструкцией, сценарий которой должен соответствовать общей логике экспериментального исследования. Важно методически грамотно поставить перед учащимися цель работы, а именно: *изучить на модели особенности протекания явления (поведения объекта), его количественные характеристики, связи между ними, режимы работы установки и пр.; освоить способ выполнения конкретного физического эксперимента, содержание и порядок выполнения экспериментальных действий и операций.*

Такой вариант КС физического эксперимента предназначен для приобретения школьниками «готового» знания и отработки ряда экспериментальных умений. Наличие достаточно сложной математической модели в основе данной симуляции обеспечивает возможность выполнения лабораторного задания в широких границах изменения параметров изучаемого явления, что, как правило, в традиционных школьных лабораторных работах практически нереализуемо. Это позволяет учащимся на базе компьютерной модели методологически грамотно выстроить ход эксперимента, т. е. обеспечить сбор необходимых данных, их систематизацию и обобщение по некоторому достаточному для выполнения этих процедур объему.

Важно отметить, что в большинстве случаев целесообразно при разработке симуляций физических экспериментов этого вида включать в учебную сцену как дополнительный элемент компьютерную анимацию дидактического назначения. Это могут быть всплывающие подсказки, различные динамические визуализации (обводка, подсвечивание, zoom-эффекты и пр.), акцентирующие внимание учащихся на главном,

существенном в изучаемом явлении. Возможна встроенная анимация теоретического содержания для пояснения сути наблюдаемого в эксперименте явления. При небольшой модификации приведенной выше фасетной формулы КС (например, приведения ее к виду «**1а-б-в-г, 2а, 3а**») учащиеся могут получить возможность детально изучить на модели «механизм» протекания явления, осмыслить его объяснение на основе соответствующей теории.

Работа с указанными видами симуляций является важным средством дополнения и углубления знаний учащихся по методологии экспериментального исследования явлений природы, а также совершенствования их экспериментальных умений. Реалистичный интерфейс таких КС и квазиреалистичность манипуляций с элементами учебной сцены являются залогом успешной подготовки учащихся к лабораторным работам.

На базе КС физического эксперимента, построенной в соответствии с фасетной формулой «**1а-б-г, 2а, 3б**», имеется возможность организовать исследовательскую деятельность учащихся, связав ее одним из этапов компьютерного численного эксперимента. Большинство учащихся, как правило, доступна работа с «готовой» численной моделью (этап ее разработки пропускается). В такой виртуальной лабораторной работе с использованием предложенного оборудования школьники самостоятельно планируют ход модельного эксперимента и исследуют модель физического явления (ее поведение и количественные характеристики в различных условиях, в том числе в случаях предельных значений параметров, их характеризующих; выявляют особенности разных режимов работы экспериментальной установки, в том числе при необходимости для ее различных модификаций; обнаруживают ранее неизвестные им закономерные связи). Рассмотренный выше дидактический функционал в такой КС может быть в той или иной степени сохранен. Однако на первый план должна быть выведена методологическая функция данной симуляции: прогнозирование численных характеристик явления и режимов работы установки, закономерностей протекания явления и границ их применимости и пр. Данные прогнозы подлежат проверке в натурном эксперименте, что в том или ином объеме может быть организовано в школьной лаборатории. Использование в обучении таких симуляций ФЭ обеспечивает осознание учащимися назначения численного эксперимента как метода познания – его прогностического и вычислительного потенциалов. Это может стимулировать их де-

тельность в направлении последующего углубленного изучения данного метода и выхода на другой уровень его освоения, а именно самостоятельное численное моделирование физических явлений (т. е. разработку «с нуля» компьютерной модели объекта исследования и алгоритмов ее численного расчета).

Полезны в учебной практике компьютерные симуляции мысленных физических экспериментов. Они могут быть реализованы на основе разных фасетных формул: (**1а-б-в-г**, **2а** или **б**; **3а** или **б**). Весьма качественные модели таких экспериментов представлены в обучающей среде «Виртуальная физика» по специальной теории относительности [3, с. 44-45]. С успехом могут быть использованы такие виды симуляций при изучении фундаментальных исторических опытов (см. пример 3-D симуляции опыта Дж. Джоуля в нашей работе [1]).

Создание динамических КС физического эксперимента является достаточно трудозатратным процессом. Это одна из причин того, что большинство представленных в образовательной среде симуляций данного вида достаточно просты по своему функционалу. Это не исключает их дидактической ценности, но и не позволяет использовать весь возможный для данного вида симуляций потенциал. В этой связи представляют интерес уточнение и систематизация наших представлений о роли виртуальных моделей физического эксперимента в обучении.

Дидактическая целесообразность применения КС физического эксперимента в учебной практике определяется 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 эксперименталь-

ных 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).

Выполненный ранее анализ компьютерных симуляций как метода исследования позволяет далее раскрыть методологический аспект их применения в обучении.

Методологическая значимость применения компьютерной симуляции в обучении 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 физическим 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

задач разных типов (параметрических, структурных, на достижение состояний, на построение, на адекватность (по И. Ю. Травкину));

– графическая репрезентация разными способами результатов моделирования, обеспечивающая их анализ и интерпретацию;

б) *реализацию комплекса гносеологических функций* (аппроксимационной, эвристической, прогностической, трансляционной (по Д. В. Баяндину)), 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) тесной взаимосвязью с физическим экспериментом как источником количественных данных, необходимых для проектирования численного эксперимента, с одной стороны, и средством проверки истинности гипотез, выдвинутых в ходе моделирования – с другой;

3) необходимостью осознания учащимися ценности данного метода и возможностью его освоения на разных уровнях доступности [2, с. 41]:

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, проверка его результатов в физическом эксперименте, 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.

Достаточно очевидны в целом ряде случаев связь и взаимовлияние дидактических и методологических функций КС. Качественная реализация методологической составляющей компьютерных симуляций будет обеспечивать их более высокий ди-

дактический эффект и наоборот.

Закключение. По мере развития научного и научно-методического знания в области компьютерного моделирования оценка дидактического и методологического функционала учебных компьютерных симуляций, в том числе КС физического эксперимента, будет уточняться. На сегодня по итогам анализа цифровых ресурсов этого вида на предмет полноты реализации в них данного функционала можно сделать ряд важных выводов. Прежде всего, это вывод о недостаточности в современной системе ЦОР компьютерных симуляций физического эксперимента, как по их числу, так и по видовому разнообразию. Преимущество имеют компьютерные анимации и интерактивные модели, математическое описание которых включает одно или два уравнения и небольшой перечень изменяемых параметров с весьма малым интервалом этих изменений. Уровень интерактивности таких моделей, как правило, невысок [5, с. 360]. Не реализованы в достаточной мере имеющиеся технологические возможности виртуальной среды в создании качественного учебного интерфейса КС. При его проектировании далеко не в полном объеме учитываются дидактические функции компьютерных симуляций, в особенности связанные с организацией активной познавательной деятельности учащихся. Тем не менее дидактический функционал ряда отдельных разработок КС физического эксперимента заслуживает высокой оценки.

Реализация методологической составляющей компьютерных симуляций пока не является приоритетным направлением в проектировании современных ЦОР. Существует весьма ограниченное число программных продуктов, в которых в той или иной степени ставится и решается задача освоения учащимися компьютерных симуляций как метода познания («Живая физика 2000». М.: ИНТ; «Виртуальная физика»: активная обучающая среда для среднего и высшего образования. Пермь, ПНИПУ; «Увлекательная реальность»: образовательный комплекс по физике, АО «Эволента»; «Spark Learning App», «Physics 3D Virtual Experiments, компания LabInApp). Авторы данных ресурсов предлагают учащимся различные варианты исследования готовых моделей и работу с модельными конструкторами. В некоторых средах реализованы условия для полного цикла численного моделирования. Это значимое для будущего направление совершенствования КС. Фронт предстоящих работ (практического и научно-методического уровней) достаточно широк. К решению этой задачи должны активно подключаться учителя

средней школы и преподаватели педагогических вузов как разработчики и эксперты

подготовленных к применению цифровых образовательных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонова, Д. А. Составляющие процесса цифровизации предметного знания: разработка цифровых ресурсов по истории физики / Д. А. Антонова, Е. В. Оспенникова // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. – 2021. – Вып. 17. – С. 5-22.
2. Баяндин, Д. В. Динамические интерактивные модели для поддержки познавательной деятельности учащихся / Д. В. Баяндин // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. – 2009. – № 5. – С. 30-44.
3. Баяндин, Д. В. Структура процесса познания в физике и классификация учебных интерактивных компьютерных моделей / Д. В. Баяндин // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. – 2006. – № 2. – С. 35-46.
4. Оспенников, Н. А. Школьный физический эксперимент в условиях развития компьютерных технологий обучения / Н. А. Оспенников // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. – 2006. – № 2. – С. 47-76.
5. Оспенникова, Е. В. Использование ИКТ в преподавании физики в средней общеобразовательной школе : метод. пособие / Е. В. Оспенникова. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 655 с.
6. Теория и техника теплофизического эксперимента : учеб. пособие для вузов / Ю. Ф. Гортышов, Ф. Н. Дресвянников, Н. С. Идиатуллин [и др.] ; под ред. В. К. Шукина. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 360 с.
7. Физический энциклопедический словарь. Т. 3. – М. : Советская энциклопедия, 1963.
8. Хамдамов, Т. В. Компьютерный поворот в философии XXI в. (размышления над книгой Йоханнеса Ленхарда «Сюрпризы вычислений. Философия компьютерных симуляций») / Т. В. Хамдамов // Вопросы философии. – 2021. – № 5. – С. 36-46.
9. Хамдамов, Т. В. Определение термина компьютерных симуляций научных экспериментов через анализ природы феномена / Т. В. Хамдамов // Социальные и гуманитарные науки: теория и практика. – 2019. – № 1 (3). – С. 167-183.
10. Duran, J. M. Computer simulations in science and engineering: Concepts – Practices – Perspectives / J. M. Duran. – Cham : Springer, 2018. – 209 p.
11. Duran, J. M. What is a Simulation Model? / J. M. Duran. – Text : electronic // Minds & Machines. – 2020. – № 30. – P. 301-323. – URL: <https://doi.org/10.1007/s11023-020-09520-z> (mode of access: 15.10.2021).
12. Humphreys, P. W. (1990). Computer simulations / P. W. Humphreys. – Text : electronic // PSA. – 1990. – № 2. – P. 497-506. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11023-020-09520-z#ref-CR34> (mode of access: 15.10.2021).

REFERENCES

1. Antonova, D. A., Ospennikova, E. V. (2021). Sostavlyayushchie protsessy tsifrovizatsii predmetnogo znaniya: razrabotka tsifrovyykh resursov po istorii fiziki [Components of the Digitalization Process of Subject Knowledge: the Development of Digital Resources on the History of Physics]. In *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Informatsionnye komp'yuternye tekhnologii v obrazovanii*. No. 17, pp. 5-22.
2. Bayandin, D. V. (2009). Dinamicheskie interaktivnye modeli dlya podderzhki poznatel'noi deyatel'nosti uchashchikhsya [Dynamic Interactive Models to Support the Cognitive Activity of Students]. In *Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Informatsionnye komp'yuternye tekhnologii v obrazovanii*. No. 5, pp. 30-44.
3. Bayandin, D. V. (2006). Struktura protsessy poznaniya v fizike i klassifikatsiya uchebnykh interaktivnykh komp'yuternykh modelei [The Structure of the Cognition Process in Physics and the Classification of Educational Interactive Computer Models]. In *Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Informatsionnye komp'yuternye tekhnologii v obrazovanii*. No. 2, pp. 35-46.
4. Ospennikov, N. A. (2006). Shkol'nyi fizicheskii eksperiment v usloviyakh razvitiya komp'yuternykh tekhnologii obucheniya [School Physical Experiment in Terms of Development of Computer Training Technologies]. In *Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Informatsionnye komp'yuternye tekhnologii v obrazovanii*. No. 2, pp. 47-76.
5. Ospennikova, E. V. (2011). *Ispol'zovanie IKT v prepodavanii fiziki v srednei obshcheobrazovatel'noi shkole* [The Use of ICT in Teaching Physics in Secondary School]. Moscow, Binom. Laboratoriya znaniy. 655 p.
6. Gortyshev, Yu. F., Dresvyannikov, F. N., Idiatullin, N. S. et al. (1985). *Teoriya i tekhnika teplofizicheskogo eksperimenta* [Theory and Technique of Thermophysical Experiment] / ed. by V. K. Shchukin. Moscow, Energoatomizdat. 360 p.
7. *Fizicheskii entsiklopedicheski slovar'* [Physical Encyclopedic Dictionary]. (1963). Vol. 3. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya.
8. Khamdamov, T. V. (2021). Komp'yuternyi povorot v filosofii XXI v. (razmyshleniya nad knigoi Iokhannesa Lenkharda «Syrprizy vychislenii. Filosofiya komp'yuternykh simulyatsii») [Computer Turn in Philosophy of the XXI Century (Reflections on the Book by Johannes Lenhardt "Surprises in Computing. Philosophy of Computer Simulations")]. In *Voprosy filosofii*. No. 5, pp. 36-46.
9. Khamdamov, T. V. (2019). Opredelenie termina komp'yuternykh simulyatsii nauchnykh eksperimentov cherez analiz prirody fenomena [The Definition of the Term Computer Simulations of Scientific Experiments through analysis of nature phenomena].

through the Analysis of the Phenomenon Nature]. In *Sotsial'nye i gumanitarnye nauki: teoriya i praktika*. No. 1 (3), pp. 167-183.

10. Duran, J. M. (2018). *Computer Simulations in Science and Engineering: Concepts – Practices – Perspectives*. Cham, Springer. 209 p.

11. Duran, J. M. (2020). What is a Simulation Model? In *Minds & Machines*. No. 30, pp. 301-323. URL: <https://doi.org/10.1007/s11023-020-09520-z> (mode of access: 15.10.2021).

12. Humphreys, P. W. (1990). Computer Simulations. In *PSA*. No. 2, pp. 497-506. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11023-020-09520-z#ref-CR34> (mode of access: 15.10.2021).