

Научная статья

УДК 372.853

DOI: 10.21209/2658-7114-2024-19-3-55-67

**Компьютерное моделирование как метод учебного познания
при изучении предметов естественно-научного цикла в средней школе**

Елена Васильевна Оспенникова¹, Дарья Андреевна Антонова²

^{1,2}*Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия*

¹*evos@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0008-5580-3659>*

²*d-antonova@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-1120-5944>*

В статье обсуждается проблема формирования у учащихся средней школы представлений о современной системе методов научного познания. Актуальность её решения определяется необходимостью включения в эту систему метода компьютерного моделирования как объекта изучения. Этот метод, осваиваемый школьниками в курсе информатики, практически не используется в преподавании естественно-научных дисциплин. При этом готовность выпускников школы к применению современных методов познания в решении когнитивных задач, в том числе с использованием средств информационных технологий, определена образовательным Стандартом как один из важнейших метапредметных результатов обучения. Установлено, что уровень метапредметного обобщения опыта компьютерного моделирования может быть достигнут лишь при условии включения этого метода в практику преподавания комплекса учебных дисциплин, прежде всего, естественно-научных. Обоснована важность освоения учителем-предметником системы обобщённых методических ориентиров организации учебной работы школьников по освоению этого метода. Определён базовый ориентир этой системы: структура компьютерного моделирования в её адаптированном для средней школы варианте. В статье приведён обзор подходов исследователей к разработке такой структуры. Выявлены различия этих подходов. Новизна исследования состоит в корректировке состава этапов компьютерного моделирования как метода учебного познания и детализации их содержания. Обозначены функции метода (конструктивные, инструментальные), которые должны стать для школьников предметом изучения и освоения. Практическая значимость полученных результатов связана с созданием функционально более полной ориентировочной основы практики применения компьютерного моделирования в предметном обучении. Для учащихся это важно для более глубокого понимания сути метода и особенностей его использования в учебном исследовании. Для учителя это основа целенаправленного планирования и организации обучения школьников компьютерному моделированию в рамках базового учебного курса по предмету, включая построение и реализацию системы его межпредметных связей с курсами информатики и математики.

Ключевые слова: методы познания в естественно-научном образовании, компьютерное моделирование, компьютерный эксперимент, компьютерные модели в предметном обучении в средней школе, методика обучения физике

Original article

**Computer Modeling as a Method of Educational Cognition and its Application
in the Study of Subjects of the Natural Science Cycle in Secondary School**

Elena V. Ospennikova¹, Darya A. Antonova²

^{1,2}*Perm State National Research University, Perm, Russia*

¹*evos@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0008-5580-3659>*

²*d-antonova@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-1120-5944>*

The article discusses the problem of forming secondary school students' perceptions of the modern system of scientific cognition methods. The relevance of this problem is determined by the need to include the computer modeling method in this system as an object of study. This method, mastered by schoolchildren in the informatics course (basic and specialized), is hardly applied in teaching natural science subjects. At the same time, the readiness of school graduates to apply modern methods of cognition in solving cognitive tasks, including the use of information technology tools, is defined by the Educational Standard as one of the most important meta-objective learning outcomes. It is established that the level of meta-objective generalization of experience in computer modeling can only be achieved by including this method in the practice of teaching a

complex of educational subjects, and primarily, natural sciences. The importance of mastering the system of generalized methodological guidelines for the organization schoolchildren' educational work on the development of this method by a subject teacher is substantiated. The basic guideline of this system is defined: the structure of computer modeling in its version adapted for secondary school. The article provides an overview of the approaches of researchers to the development of such a structure. The differences between these approaches are revealed. The *novelty of the research* lies in the adjustment of the stages of computer modeling as a method of cognition and the detailing of their content. The functions of the method (constructive, instrumental) are indicated, which should become the subject of study and development for schoolchildren. *The practical significance* of the results obtained is associated with the creation of a functionally more complete indicative basis for the practice of using computer modeling in teaching. For school students, this is important for a deeper understanding of the essence of the method and the features of its use in solving research tasks. For a teacher, this is the basis for purposeful planning and organization of teaching computer modeling to schoolchildren within the framework of a basic training course in the subject, including the construction and implementation of a system of its interdisciplinary links with courses in informatics and mathematics.

Keywords: methods of cognition in natural science education, computer modeling, computer experiment, computer models in subject education in secondary school, methods of teaching physics

Введение. Проблема совершенствования теории и практики подготовки будущих учителей к организации обучения школьников основам методологии научного поиска не теряет своей актуальности. Всплеск интереса к её исследованию в последние два десятилетия связан с тем, что система методов познания, которую осваивают учащиеся средней школы, обогатилась новым методом – *компьютерным моделированием* различных процессов и систем. Значимый методологический статус компьютерного моделирования, современные тенденции в его развитии и широкая практика применения в научных исследованиях не позволяют обойти данный метод вниманием при определении содержания образования в средней школе. Этот метод изучается школьниками в курсе информатики с начала 2000-х гг.

В содержании ФГОС среднего общего образования определены требования к результату его освоения. На *базовом* уровне изучения предмета у школьников формируются общие представления о компьютерно-математических моделях и умение использовать их для анализа объектов и процессов. При освоении информатики на *углублённом* уровне учащиеся приобретают начальные знания по методологии компьютерного моделирования и осваивают практику самостоятельного создания простых компьютерных моделей. При этом образовательным Стандартом применение метода компьютерного моделирования при изучении предметов естественно-научного цикла не регламентировано.

Отметим, что в разделе ФГОС СОО, касающегося характеристики метапредметных результатов освоения программы сред-

ней школы, отмечается, что эти результаты должны отражать способность и готовность учащихся к применению различных методов познания, а также умение использовать средства информационных и коммуникационных технологий в решении когнитивных задач¹. В связи с этим возникает вопрос: является ли в таком случае метод компьютерного моделирования объектом *метапредметного обобщения*? Очевидно, что «замкнутый» рамками школьного курса информатики он не может быть таким объектом.

Требуемый уровень метапредметной подготовки школьников в освоении компьютерного моделирования обеспечивается лишь при условии его применения в некотором комплексе предметов учебного плана, в первую очередь в рамках предметов естественно-научного цикла. Однако в отсутствие в настоящее время каких-либо регламентов применения этого метода в практике преподавания естественно-научных дисциплин компьютерные модели рассматриваются учителями этого предметного цикла преимущественно как одно из цифровых средств обучения.

При этом его применение в учебном процессе ограничивается чаще всего иллюстративной функцией. Конструктивные и инструментальные возможности компьютерных моделей остаются недооценёнными и нереализованными в необходимом объёме и качестве. Рассмотрение и освоение школьниками компьютерного моделирования как метода познания при изучении естественно-научных предметов имеет место лишь

¹ Федеральный государственный образовательный стандарт Среднее общее образование: приказ Минобрнауки России: [от 17 мая 2012 г. № 413 (ред. от 12 августа 2022 г.)]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/351729442> (дата обращения: 15.03.2024). – Текст: электронный.

в отдельных случаях. Это касается курсов внеурочной деятельности (при условии их наличия в учебном плане школы). В итоге потенциал компьютерного моделирования как метода познания при изучении основ естественных наук для большинства учащихся средней школы остаётся вне поля их внимания и образовательной практики.

В рамках данной статьи проблема разрешения выявленного противоречия рассматривается на примере преподавания в средней школе одного из предметов естественно-научного цикла – курса физики.

Проблеме применения при обучении физике в средней школе компьютерного моделирования (англ. *computer simulation*) и «готовых» компьютерных моделей, для обозначения которых в контексте изложения тоже может быть использован термин «компьютерная симуляция» (КС), посвящён ряд диссертационных исследований (О. В. Заковряшина, Е. С. Кощеева, И. М. Нуркаева, Н. Б. Розова, М. И. Старовиков, Л. Х. Умарова, А. А. Финагин, А. И. Ходанович и др.)¹. Авторами анализируется потенциал «готовых» КС как средства обучения, рассматриваются их возможности для проведения компьютерных экспериментов, обсуждается проблема формирования исследовательских умений учащихся в области компьютерного моделирования. Как результат этих исследований определена некоторая совокупность методических положений, ка-

¹ Заковряшина О. В. Интеграция виртуально-го и натурального школьного физического эксперимента в процессе обучения физике: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – Новосибирск, 2014. – 163 с.; Кощеева Е. С. Развитие исследовательских умений учащихся на основе использования схемотехнического моделирования в процессе обучения физике: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – Екатеринбург, 2003. – 219 с.; Нуркаева И. М. Методика организации самостоятельной работы учащихся с компьютерными программами на занятиях по физике: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – М., 1999. – 231 с.; Розова Н. Б. Применение компьютерного моделирования в процессе обучения: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01. – Вологда, 2002. – 163 с.; Старовиков М. И. Формирование учебной исследовательской деятельности школьников в условиях информатизации процесса обучения: на материале курса физики: дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.02. – Бийск, 2007. – 398 с.; Умарова Л. Х. Использование комплекса упражнений по физике, основанных на компьютерном модельном эксперименте: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – М., 2005. – 161 с.; Финагин А. А. Вычислительный эксперимент при информационном подходе к изучению физики в средней школе: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – СПб., 2004. – 161 с.; Ходанович А. И. Концептуально-методические аспекты информатизации общего физического образования на современном этапе: дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.02. – СПб., 2003. – 333 с.

сающихся практики применения компьютерных симуляций в учебной деятельности школьников. Это своего рода общие ориентиры для учителя физики по формированию представлений учащихся о компьютерном моделировании как методе познания и организации их деятельности по его освоению. Однако разработанные «порознь» как единичные, они не являются достаточными по своему составу и не образуют систему, не обладают в полной мере целостностью и обобщённостью, не обеспечивают формирование у учащихся представлений о функциях компьютерного моделирования как метода познания и не ориентированы на приобретение начального опыта реализации этих функций в учебной деятельности.

Одним из наиболее значимых (исходных!) ориентиров в такой системе должна стать, на наш взгляд, собственно структура метода компьютерного моделирования. Разработка этой структуры в её учебном варианте, предназначенном для освоения учащимися средней школы, является актуальной задачей теории и методики предметного обучения. Анализ процессуальной структуры компьютерного моделирования лежит в основе определения его места и роли как метода познания в содержании обучения, а также оценки его возможностей в совершенствовании предметной подготовки обучающихся. **Целью исследования** является анализ подходов к определению структуры компьютерного моделирования как метода исследования и разработка её уточнённого варианта, адаптированного для применения в учебном процессе по физике в средней школе.

Методология и методы исследования. Теоретико-методологический базис исследования составили основы методологии компьютерного моделирования, основы теории и методики обучения компьютерному моделированию в курсе информатики средней школы, научно-методические подходы в области обучения компьютерному моделированию физических процессов и систем. В исследовании использовались методы анализа и сравнения подходов авторов к разработке структуры компьютерного моделирования, а также систематизации и обобщения их позиций в решении этой задачи.

Результаты исследования и их обобщение. Основная часть научно-методических публикаций и учебных пособий по

компьютерному моделированию ориентирована на обучение студентов технических вузов и классических университетов. Подготовка студентов педагогических специальностей посвящено существенно меньше исследований (С. Е. Попов [1], Д. Ф. Тергулов [2], А. В. Ляпцев, А. С. Тюканов [3]). Имеются учебные пособия по данному направлению для школьников *профильных классов* (А. С. Кондратьев, А. В. Ляпцев¹; А. В. Сорокин, Н. Г. Торгашина, Е. А. Ходос, А. С. Чиганов²; А. В. Никитин, А. И. Слободянюк, М. Л. Шишаков [4]). Содержание этих пособий, как правило, связано с организацией спецкурсов или факультативов по физике, а также с выполнением учащимися индивидуальных исследовательских проектов.

В настоящее время обозначена и решается задача построения обобщённой структуры метода компьютерного моделирования и её возможных конкретизаций. Предложены различные варианты этой структуры применительно к организации обучения в вузе (О. И. Бабина [5], Р. В. Майер [6], Р. Ф. Маликов³, С. Е. Попов [1], Ю. П. Попов, А. А. Самарский [7; 8] и др.) и в средней школе (Р. В. Бирих [9], А. С. Кондратьев, А. А. Финагин [10], А. В. Никитин, А. И. Слободянюк, М. Л. Шишаков [4] и др.). Наибольшее внимание авторы уделяют следующим этапам компьютерного моделирования:

- 1) разработка математической модели исследуемого объекта;
- 2) реализация алгоритмов решения модели на компьютере с помощью различных инструментальных средств;
- 3) соотнесение результатов компьютерного и физического экспериментов.

Этап проведения собственно вычислительного эксперимента (его планирование и выполнение) при всей его значимости в общей процедуре компьютерного моделирования целенаправленно не обсуждается. Это существенное методическое упущение, поскольку важно, как отмечает В. А. Стародубцев, чтобы в ходе компьютерного экспе-

римента за моделирующей программой учащийся видел физическое явление, а модель этого явления в процессе её исследования стала для него источником новых знаний по предмету [11].

Рассмотрим подходы к решению вопроса о структуре компьютерного моделирования авторов ряда наиболее популярных учебников и учебных пособий для средней школы. Основные этапы метода КМ, обозначенные авторами, приведены в табл. 1.

Курсивом в этой таблице выделены те элементы структуры метода, которые являются общими в разработках большинства авторов. Предложенные решения при их принципиальном сходстве тем не менее отличаются. Указывается разное число основных этапов компьютерного моделирования (от 4 до 7), различна подструктура этапов, в том числе степень её детализации.

Подходы к описанию структуры компьютерного моделирования в учебной литературе и научно-методических публикациях для высшей школы отличаются ещё большим разнообразием. Число этапов варьируется от 5 до 10, разнятся и характеристики их содержания.

Разработку процессуальной структуры КМ следует выполнять на основе системного подхода и исходя, прежде всего, из принципа строгой иерархичности действий и операций в составе этого метода. Кроме того, является важным определение подструктуры каждого этапа. Необходима достаточная степень детализации этой подструктуры с учётом особенностей уровня образовательной подготовки обучающихся. Соблюдение этих требований обеспечивает функциональность процессуальной структуры метода компьютерного моделирования.

Ниже приведена разработанная на основе указанного подхода обобщённая структура компьютерного моделирования в его адаптированной версии для использования в учебном процессе по физике в средней школе (табл. 2).

Модель структуры метода может быть представлена учащимся в визуальной форме, что способствует лучшему восприятию связей его основных этапов и запоминанию их содержания (рис. 1).

¹ Кондратьев А. С., Ляпцев А. В. Физика: задачи на компьютере: учеб. пособие. – М.: Физматлит, 2008. – 398 с.

² Сорокин А. В., Торгашина Н. Г., Ходос Е. А., Чиганов А. С. Физика: наблюдение, эксперимент. Моделирование: учеб. пособие. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 199 с.

³ Маликов Р. Ф. Практикум по компьютерному моделированию физических явлений и объектов: учеб. пособие. – Уфа: БашГПУ, 2005. – 291 с.

Таблица 1

Подходы авторов учебников и учебных пособий к разработке структуры компьютерного моделирования как метода исследования

Информатика. 11 класс Учебник (углуб. уровень) К. Ю. Поляков, Е. А. Еремин¹	Информатика. 11 класс Учебник (углуб. уровень) И. Г. Семакин, Е. К. Хеннер, Л. В. Шестакова²	Компьютерное моделирование физических процессов А. В. Никитин, А. И. Слободянюк, М. Л. Шишаков [4]
1. <i>Постановка задачи</i>	1. Определение цели моделирования	1. Изучение реальной ситуации или явления (<i>постановка задачи</i>)
2. Разработка модели: определение исходных данных, существенных для решения задачи; выбор типа модели; <i>построение формальной модели, отражающей существенные свойства оригинала;</i> <i>разработка алгоритма;</i> <i>исследования формальной модели;</i> <i>построение компьютерной модели;</i> тестирование компьютерной модели	2. Составление списка параметров модели, ранжирование	2. <i>Построение математической модели на языке уравнений</i> и её предварительный качественный анализ
	3. <i>Построение модели (математическая формализация)</i>	3. <i>Разработка алгоритма решения уравнений</i>
	4. Реализация модели (способы: аналитические, численные)	
3. <i>Эксперимент с моделью</i>	5. Компьютерная реализация моделирования: <i>разработка алгоритма и составление программы для компьютера;</i> отладка программы	4. <i>Создание работающей компьютерной программы</i>
	6. <i>Проведение вычислительного эксперимента</i>	5. <i>Проведение вычислительного эксперимента</i>
4. <i>Анализ результатов</i>	7. <i>Анализ адекватности модели.</i> Уточнение модели в случае несоответствия	6. <i>Получение и анализ результатов</i>

Таблица 2

Обобщенная структура компьютерного моделирования как метода учебного исследования

1. Анализ проблемы и постановка задачи исследования явления (объекта, процесса)	
1.1	Изучение физического явления (объекта, процесса): <i>сбор информации о явлении</i> из различных источников, в том числе включающих данные экспериментальных исследований; <i>анализ, систематизация и обобщение имеющейся информации</i>
1.2	<i>Формулировка вопросов</i> , которые интересуют исследователя (<i>содержательная постановка задачи</i>)
1.3	<i>Выдвижение гипотез</i> о свойствах и законах протекания исследуемого явления (поведения объекта, развития процесса), его возможных откликах на воздействия окружающей среды, структуре, «механизмах» существования и развития
1.4	<i>Построение</i> на основе выдвинутых предположений <i>физической модели явления (концептуальная постановка задачи)</i> :
	а) уточнение <i>параметров</i> , описывающих явление (структуру, свойства, состояние объекта или процесса) и характеризующих внешние воздействия на него;
	б) определение <i>законов</i> , связывающих данные параметры;
	в) выбор физического приближения изучаемого явления: отбор и ранжирование учитываемых в модели параметров, введение допущений;
1.5	Уточнение на основе поставленных вопросов <i>вида модели</i> : по характеристикам объекта моделирования (его внешним признакам, структуре, поведению или комплексу этих характеристик); назначению модели (дескриптивная, оптимизационная); цели моделирования (исследование, прогнозирование, управление, включая оптимизацию состояния исследуемого объекта)
1.6	Выбор <i>формы представления результата моделирования</i> (числом, таблицей, диаграммой, графиком, изолиниями, анимацией и др.)
1.7	Определение требуемой <i>точности результата</i> моделирования
1.8	Указание <i>границ применимости модели</i> , для которых считаются справедливыми результаты моделирования
2. Построение (или выбор) математической модели явления	
2.1	Запись физической модели явления в математических терминах: <i>построение формализованной математической модели</i>

¹ Поляков К. Ю., Еремин Е. А. Информатика. Углубленный уровень: учебник для 11 класса: в 2 ч. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – Ч. 1. – 240 с.

² Семакин И. Г., Хеннер Е. К., Шестакова Л. В. Информатика. 11 класс. Углубленный уровень: учебник: в 2 ч. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2016. – Ч. 2. – 216 с.

Окончание табл. 2

2.2	Постановка <i>прикладной математической задачи</i> (дополнение формализованной математической модели начальными и граничными условиями)
2.3	<i>Качественный анализ математической задачи</i> , проверка её корректности
3. Составление алгоритма для нахождения решения поставленной математической задачи	
3.1	Выбор и обоснование <i>метода</i> решения математической задачи (<i>аналитического, численного, имитационного</i>). Определение <i>способа оценки погрешности данного метода</i>
3.2	Построение <i>дискретного аналога прикладной математической задачи</i> : запись системы уравнений в виде совокупности алгебраических формул, по которым будут проводиться вычисления на ЭВМ (для ряда имитационных моделей этот этап не реализуется)
3.3	Выбор (или построение) <i>вычислительного алгоритма</i> (порядка следования и условий применения формул для решения поставленной математической задачи или последовательности протекания, развития исследуемого процесса)
4. Разработка (выбор) программы реализации алгоритма на ПК	
4.1	<i>Реализация алгоритма в виде программы</i> приближенных вычислений на компьютере (кодирование алгоритма решения задачи); <i>обеспечение</i> на программном уровне <i>контроля требуемой точности</i> расчётов
4.2	<i>Программная реализация заданной формы представления результатов моделирования</i> (числом, таблицей, диаграммой, графиком, анимацией и др.)
4.3	Программирование <i>пользовательского интерфейса</i> КЭ (диалога «модель – исследователь»)
4.4	<i>Отладка программы</i> (исправления нарушений грамматики языка программирования и построения алгоритма)
4.5	<i>Тестирование программы</i> : проверка корректности её работы на задачах, для которых существуют точные аналитические решения, и/или посредством сравнения с известными данными физического эксперимента
5. Проведение компьютерного эксперимента (исследование модели)	
5.1	Реализация <i>первого этапа</i> КЭ: выполнение расчётов в соответствии с поставленной задачей в рамках одной вычислительной модели (исследование, прогнозирование или управление, включая оптимизацию): а) <i>исследование</i> : – новой (или уточнение имеющейся) теории физического явления – численное решение поставленной задачи как следствия данной теории (определение параметров явления, их взаимосвязи, особенностей протекания явления, их связи с воздействиями внешней среды и др.); – аппроксимационной модели явления (объекта, процесса), построенной при отсутствии его исходной математической модели (численное решение поставленной задачи с целью получения информации о свойствах и поведении объекта или процесса); б) <i>прогнозирование</i> : – неизвестных параметров физического явления в заданных условиях; – структуры объекта и определяющих её связей, их изменения при смене внешних условий; – причинно-следственных связей (динамических, вероятностных), функциональных и др.; – поведения объекта (системы) при различных внешних воздействиях; – комплексное; в) <i>управление, включая оптимизацию</i> : поиск значений входных параметров для получения объекта или системы с нужными характеристиками в заданном состоянии
5.2	<i>Анализ решения поставленной задачи</i> по результатам первого этапа КЭ: а) сравнение с известными данными физического эксперимента (с целью подтверждения теоретической гипотезы, проверки корректности аппроксимационной модели, результатов прогнозирования или оптимизационных решений); б) оценка точности результатов моделирования и соответствия по точности входных и выходных параметров модели
5.3	Фиксация (при наличии) ранее непредусмотренных эффектов моделирования
5.4	Организация <i>второго этапа</i> исследования – изучение иерархической цепочки компьютерных моделей, отражающей эволюцию математической модели и методов её расчёта в последовательных циклах: а) <i>уточнение</i> модели в последовательных циклах вычислительного эксперимента с целью проверки (тестирования) вычислительных алгоритмов приближенного решения полной задачи; б) <i>усложнение</i> модели с целью качественного исследования полной задачи и соответственно изучения на основе модели реального объекта
6. Анализ результатов вычислительного эксперимента. Формулировка выводов	
6.1	<i>Изучение</i> результатов моделирования, их <i>систематизация</i> и <i>обобщение</i>
6.2	<i>Интерпретация выявленных (ранее непредусмотренных) эффектов</i> моделирования (при наличии)
6.3	Проверка <i>достоверности</i> результатов. Уточнение <i>границ применимости модели</i> , для которых считаются справедливыми результаты моделирования
6.4	Формулировка <i>выводов</i> , включая определение направлений <i>практического использования</i> разработанной модели

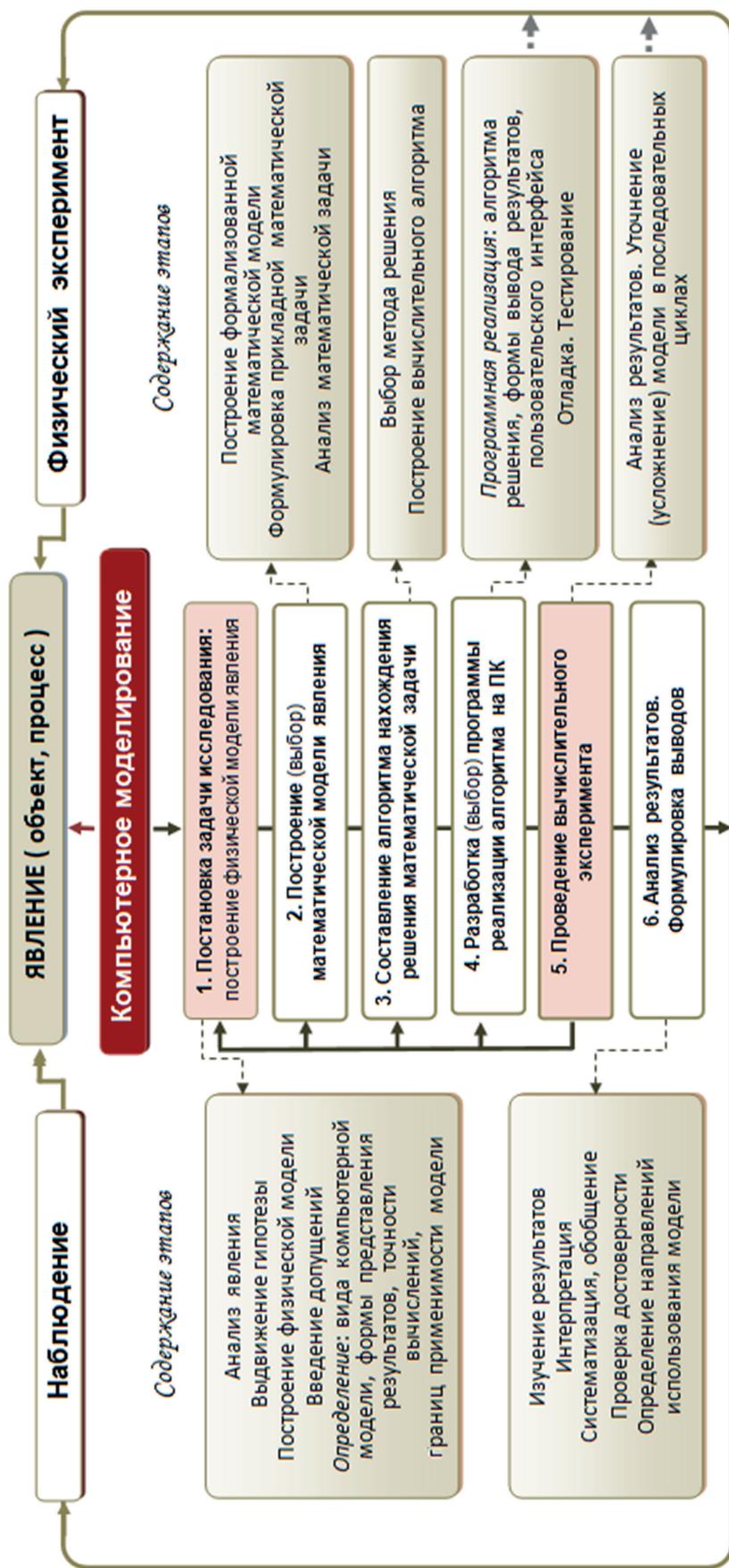


Рис. 1. Обобщённая структура компьютерного моделирования как метода учебного исследования
 Fig. 1. The generalized structure of computer modeling as a research method

Приведённая последовательность этапов компьютерного моделирования в значительной её части является инвариантной к содержанию предметной области применения этого метода. Исключение составляет подструктура первого этапа (анализ проблемы и постановка задачи исследования), которая разработана с учётом содержания конкретной предметной области исследования – физики. В структуре метода обозначено не только его *инструментальное*, но и *конструктивное* назначение, связанное с получением новых знаний об исследуемом явлении. Это обеспечивает осознание учащимися научной значимости компьютерного моделирования в исследовании физических явлений.

Следует обратить внимание на детализацию в приведённой обобщённой структуре метода КМ такого этапа компьютерного моделирования, как *компьютерный эксперимент*. Исследование поведения компьютерной модели в ходе компьютерного эксперимента может рассматриваться как относительно самостоятельный метод в составе более общего метода. В представленном исследовании разработан обобщённый план проведения учебного компьютерного эксперимента. При этом учтена его взаимосвязь с другими этапами КМ. Для организации деятельности учащихся средней школы такой

план необходим, поскольку на занятиях по физике они работают в основном с «готовыми» компьютерными моделями.

Особенность организации работы учащихся на этапе выполнения компьютерного эксперимента определяется предысторией их познавательного опыта. Именно по этой причине обобщённый план проведения компьютерного эксперимента должен быть представлен в *двух вариантах*: для учащихся, которые самостоятельно создавали компьютерную модель, и для тех, кто работает с «готовой» компьютерной моделью.

Полный цикл моделирования реализуется, как правило, в рамках индивидуальной работы со школьниками, проявившими к этой деятельности способности и интерес, и чаще всего в условиях внеурочной деятельности по предмету. Планирование и выполнение компьютерного эксперимента в этом случае связывается с п. 3 (3.3) и п. 5 обобщённой структуры компьютерного моделирования (табл. 2).

На занятиях по основному курсу физики (как базового, так и профильного уровней) основным средством обучения компьютерному моделированию является «готовая» компьютерная модель. Ниже приведён обобщённый план выполнения компьютерного эксперимента в его учебной адаптации для случая работы учащихся с такими моделями (табл. 3).

Таблица 3

Обобщённый план выполнения компьютерного эксперимента
(исследование «готовой» компьютерной модели)

1. Анализ проблемы и постановка задачи исследования	
1.1	Изучение <i>физической модели явления</i> (объекта, процесса): – известных фактов (характеристик явления, факторов воздействия на явление); – (*) эмпирических законов протекания явления; – (*) теоретических обоснований закономерностей протекания явления (при наличии)
1.2	Анализ <i>допущений</i> , введённых в модельном описании явления, и <i>границ применимости модели</i> , для которых считаются справедливыми результаты моделирования
1.3	Определение <i>цели моделирования</i> (исследование, прогнозирование или управление, включая оптимизацию состояний исследуемого объекта). Формулировка <i>задачи</i> исследования
2. Анализ математической модели явления	
2.1	Анализ <i>формализованной математической модели</i> : – (*) изучение её оператора (функций, уравнений, таблиц, правил нахождения искомых параметров); – анализ параметров модели и их «математической природы» (качественные/количественные; векторные/скалярные; постоянные/переменные; детерминированные, стохастические, случайные и др.), в том числе: <i>независимых входных</i> : собственных внутренних параметров явления; управляемых воздействий на явление; неуправляемых воздействий внешней среды; <i>зависимых выходных (искомых)</i> параметров явления
2.2	Анализ <i>прикладной математической задачи</i> – изучение и оценка реалистичности: – начальных условий, определяющих состояние системы в начальный (данный) момент времени; – граничных условий, задающих поведение исследуемой системы на границе рассматриваемой области; – диапазонов изменения независимых параметров; – диапазонов изменения искомых величин

Окончание табл. 3

2.3	<p>Качественный анализ математической задачи, проверка её корректности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – (*) поиск (по возможности) точных решений системы уравнений для частных или предельных случаев для их последующего использования при тестировании компьютерной модели; – анализ прогнозирования на качественном уровне характера поведения модели
3. Составление алгоритма решения прикладной задачи (планирование компьютерного эксперимента)	
3.1	<p>Анализ <i>пользовательского интерфейса</i> модели:</p> <ul style="list-style-type: none"> – способов ввода независимых параметров; – заданных форм представления результатов моделирования (число, таблица, диаграмма, график, изолинии, анимация и др.); диапазона их выбора
3.2	<p>Определение <i>порядка проведения</i> компьютерного эксперимента:</p> <ul style="list-style-type: none"> – уточнение параметра(ов) модели, которые необходимо задать для нахождения искомых численных характеристик явления или выявления соответствующих состояний исследуемого процесса; – уточнение параметра(ов) модели, которые необходимо изменять для выявления интересующих особенностей её поведения; – при проведении количественного эксперимента необходимо уточнить (назначить) диапазон и шаг изменения параметров модели (если это предусмотрено в интерфейсе модели); – при наличии нескольких переменных входных параметров определяется последовательность серий вычислений (в каждой серии расчётов следует изменять лишь один из параметров, оставляя другие параметры модели постоянными); – при достаточной ясности поведения модели в различных условиях возможно одновременное изменение нескольких параметров; – выбор форм представления результатов моделирования (при наличии)
3.3	<p>(*) <i>Запуск модели в тестовом режиме:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – оценка достоверности расчёта искомых параметров модели (введение значений независимых параметров, соответствующих известным предельным или частным случаям решения математической задачи); – удовлетворение модели поставленным начальным и граничным условиям; – совпадение с заданной точностью результатов моделирования с данными физического эксперимента (при наличии данных)
4. Выполнение компьютерного эксперимента в соответствии с планом (п. 3.2)	
Сохранение результатов моделирования	
5. Анализ результатов компьютерного эксперимента	
5.1	<p>Изучение и описание <i>результатов моделирования</i>, представленных в различной графической форме (таблицей, диаграммой, графиками, изолиниями, анимацией и т. д.):</p> <ul style="list-style-type: none"> – количественных и качественных характеристик поведения модели; – распределений значений различных параметров модели, закономерностей данных распределений; – эволюции исследуемых процессов; – непредусмотренных ранее эффектов моделирования (при наличии)
5.2	<p>(*) <i>Обработка данных</i> эксперимента различными способами, в том числе статистическими (обработка данных может быть встроена в содержание моделирующей программы, в ряде случаев производится дополнительно с применением специальных приложений)</p>
5.3	<i>Систематизация</i> данных, их <i>обобщение</i> (выявление закономерностей)
5.4	<i>Интерпретация</i> непредусмотренных ранее эффектов моделирования (при наличии)
5.5	<p><i>Проверка достоверности</i> результатов моделирования:</p> <ul style="list-style-type: none"> – сравнение с известными данными физических экспериментов (если последние осуществимы); – указание границ применимости модели, для которых считаются справедливыми результаты моделирования
6. Выводы по результатам компьютерного эксперимента:	
6.1	<p>Формулировка заключения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – о достоверности численных результатов моделирования; – о состоятельности используемых для исследования явления моделей (физической и математической); – о справедливости прогнозов, сформулированных на их основе
6.2	<p>(*) <i>Постановка задачи</i> продолжения (дальнейшего развития, совершенствования) вычислительного эксперимента, в т. ч. с целью исследования различных модификаций исследуемого объекта</p>

Содержание работы с «готовой» компьютерной моделью зависит от сложности моделируемого физического процесса. Имеет смысл обсуждать два уровня сложности. *Первый* связан с такими симуляциями, математическая модель и вычислительный алгоритм которых доступны пониманию уча-

щихся. *Второй уровень* основан на использовании «скрытой» математической модели в силу её сложности. Это касается и вычислительного алгоритма. При работе на втором уровне планирование компьютерного эксперимента осуществляется только на основе анализа интерфейса компьютерной модели

(п. 3.1). Пункт 2 обобщённого плана выполнения компьютерного эксперимента (см. табл. 3) исключается. При этом компьютерный эксперимент, базирующийся на сложной математической модели, может быть весьма полезен как средство освоения учащимися важных элементов теоретического знания, но без осмысления его математического аппарата, пока недоступного пониманию учащихся. Наглядный пример такого компьютерного эксперимента представлен в статье Д. В. Баяндина [12, с. 32]. Авторами этой работы раскрываются возможности выполнения учащимися компьютерного эксперимента при изучении закономерностей теплового движения в неравновесных и равновесных системах. На рисунке 2 приведён ещё один

пример такого компьютерного эксперимента. Это иллюстрация интерфейса учебной компьютерной симуляции механической модели опыта О. Штерна, предназначенной для исследования распределения хаотически движущихся и взаимодействующих свинцовых шариков дроби по скорости этого движения и определения значения наиболее вероятной скорости. Отметим, что эта учебная симуляция подготовлена студентом педагогического вуза (разработчик: А. Цой, ПГГПУ, г. Пермь, выпуск 2022). Организация деятельности будущих учителей по выполнению подобных проектов является важным направлением их профессиональной подготовки к применению в обучении физике компьютерного моделирования как метода учебного познания.

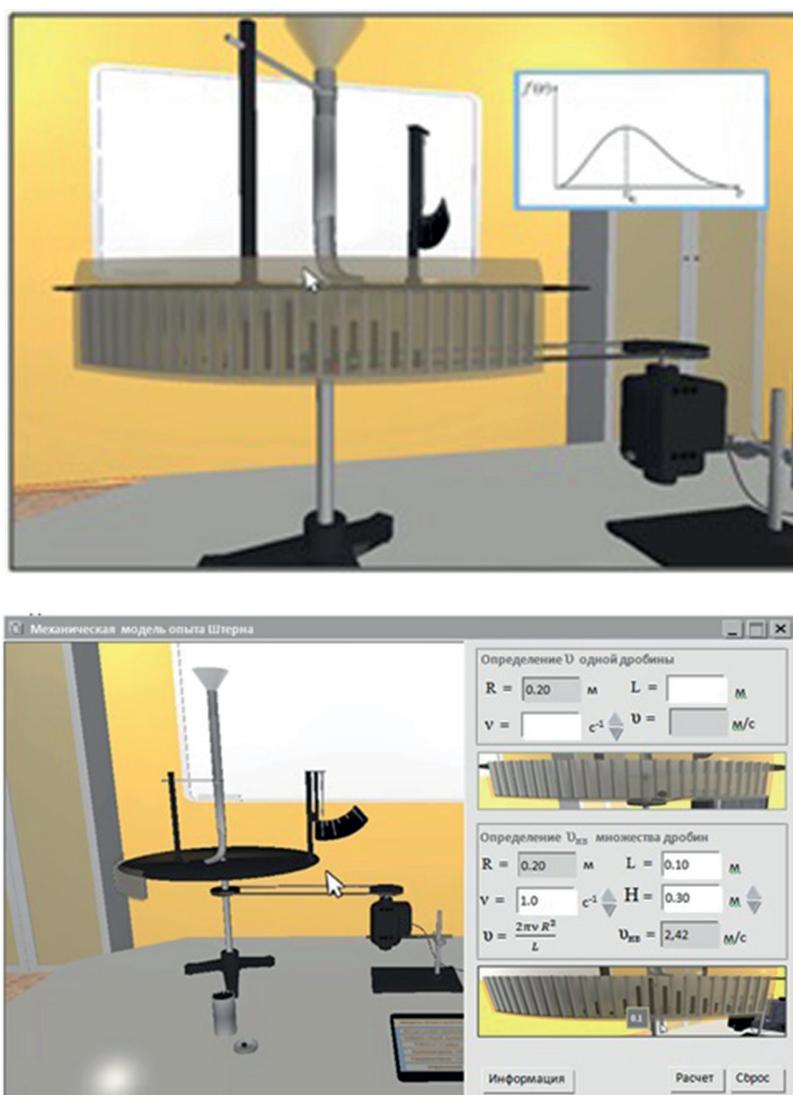


Рис. 2. Компьютерная симуляция механической модели опыта О. Штерна
Fig. 2. Computer simulation of the mechanical model of O. Stern's experiment

Особенностью учебной компьютерной модели, приведённой на рис. 2, является наличие двух интерфейсов: *квазиреалистичного* и *классического абстрактного*. Такой подход к разработке интерфейсов целесообразен для компьютерных симуляций отдельных видов, в частности для симуляций физического эксперимента. В этом случае компьютерная модель может «запускаться» как в режиме *симулятора физического эксперимента* (на основе «скрытого вычислительного эксперимента»), так и в режиме выполнения *компьютерного эксперимента*. Работа в двух режимах с разными интерфейсами, с одной стороны, обеспечивает осознание учащимися общей логики планирования и проведения *физического* и *компьютерного* экспериментов, с другой – позволяет учащимся оценить значительный вычислительный и репрезентативный потенциалы компьютерного моделирования.

Заключение. Структурные элементы метода компьютерного моделирования являются основанием для определения учителем основных целей процессуальной подготовки учащихся к его применению в учебной деятельности по предмету. Анализ содержания этих целей и выстраивание последовательности их достижения являются условиями разработки последующей системы этой подготовки в рамках конкретного учебного предмета. При этом для школьников, изучающих предметы естественно-математического цикла и информатику на базовом и профильном уровнях, должна быть определена разная степень освоения составляющих компьютерное моделирование действий как по составу, так и по глубине проникновения в их содержание.

Система предметной подготовки школьников в области компьютерного моделирования должна строиться непременно с

учётом межпредметных связей. Содержание обобщённой структуры компьютерного моделирования является очевидной демонстрацией сложности данного метода и его междисциплинарного характера, как с точки зрения осмысления его особенностей, так и практического освоения. Необходимы целенаправленное проектирование и реализация межпредметных связей курсов физики, математики, информатики. Действия и операции, освоенные учащимися на занятиях по математике и информатике (инструментальная подготовка в области компьютерного моделирования), конкретизируются, закрепляются и совершенствуются в решении прикладных задач по физике.

Систематическая практика выполнения компьютерного эксперимента с использованием «готовых» компьютерных моделей с учётом разнообразия их видов, назначения и целей моделирования является условием успешного решения учителем в рамках основного курса физики задачи формирования у учащихся представлений о потенциале компьютерного моделирования как метода научного исследования и становления начального опыта его практического применения. Индивидуальная работа и организация курсов внеурочной деятельности по предмету являются условиями обеспечения углублённой практики освоения этого метода учащимися, проявившими заинтересованность в его изучении.

В наших работах [13–15] определены направления и содержание подготовки будущих учителей физики к применению компьютерного моделирования в предметном обучении, раскрыты методологические функции КМ (гносеологические, интегрирующие, регулятивные), приведена модель освоения учащимися этого метода для базового и профильного уровней их предметной подготовки.

Список литературы

1. Попов С. Е. Методическая система подготовки учителя в области вычислительной физики: монография. Нижний Тагил: НТГСПА, 2005. 237 с.
2. Тергулов Д. Ф. Подготовка будущих учителей к использованию натурно-вычислительного эксперимента при обучении физике: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. Екатеринбург, 2017. 213 с.
3. Ляпцев А. В., Тюканов А. С. Сочетание натурального и виртуального экспериментов при обучении физике в педагогическом вузе // Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании: материалы IV Междунар. науч. конф. Красноярск, 2020. С. 226–230.
4. Никитин А. В., Слободянюк А. И., Шишаков М. Л. Компьютерное моделирование физических процессов. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. 679 с.
5. Бабина О. И. Сравнительный анализ имитационных и аналитических моделей // Имитационное моделирование. Теория и практика: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. СПб., 2009. С. 73–77.

6. Майер Р. В. Компьютерное моделирование: моделирование как метод научного познания. Компьютерные модели и их виды. URL: <http://econf.gae.ru/article/6722> (дата обращения: 17.02.2024). Текст: электронный.
7. Самарский А. А., Попов Ю. П. Вычислительный эксперимент в физике // Наука и человечество. М.: Знание, 1975. С. 280–291.
8. Избранные труды А. А. Самарского / под ред. А. В. Гулина, В. И. Дмитриева. М.: МАКС Пресс, 531 с. URL: <http://samarskii.ru/artic-les/1979/1979-002ocr.pdf> (дата обращения: 12.04.2024). Текст: электронный.
9. Бирих Р. В. О компьютерных моделях в школьном курсе физики // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия «Информационные компьютерные технологии в образовании». 2006. № 2. С. 27–33.
10. Кондратьев А. С., Финагин А. А. Вычислительный эксперимент в рамках школьного курса физики // Компьютерные инструменты в образовании. 2004. № 1. С. 25–30.
11. Стародубцев В. А. Методологическая роль компьютерных практикумов // Открытое и дистанционное образование. 2003. № 2. С. 34–40.
12. 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.
13. Антонова Д. А. Методическая система продуктивного обучения будущих учителей разработке и применению компьютерных симуляций учебного физического эксперимента // Учебный эксперимент в образовании. 2023. № 4. С. 43–57.
14. Антонова Д. А., Оспенникова Е. В. Компьютерные симуляции учебного физического эксперимента: методологический и дидактический аспекты применения в обучении // Педагогическое образование в России. 2021. № 6. С. 13–23.
15. Антонова Д. А., Оспенникова Е. В. Учебные компьютерные симуляции физического эксперимента. Текст: электронный // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 6. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=31217> (дата обращения: 11.04.2024).

Информация об авторах

Оспенникова Елена Васильевна, доктор педагогических наук, профессор, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15; evos@bk.ru; <https://orcid.org/0009-0008-5580-3659>.

Антонова Дарья Андреевна, преподаватель, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15; d-antonova@bk.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1120-5944>.

Вклад авторов

Оспенникова Е. В. – основной автор, осуществляла обзор исследований по проблеме применения компьютерного моделирования при обучении физике, формулирование цели и задач исследования, определение подхода к разработке структуры компьютерного моделирования как метода учебного исследования при его применении при изучении физических процессов и систем, построение системы его методологических функций.

Антонова Д. А. – разработка обобщённой структуры компьютерного моделирования как метода познания и структуры компьютерного эксперимента в их адаптации к практике применения в курсе физики средней школы, раскрытие содержания методологических функций компьютерного моделирования, представление характеристики уровней сложности работы учащихся по выполнению компьютерного эксперимента с использованием «готовой» компьютерной модели.

Для цитирования

Оспенникова Е. В., Антонова Д. А. Компьютерное моделирование как метод учебного познания при изучении предметов естественно-научного цикла в средней школе // Учёные записки Забайкальского государственного университета. 2024. Т. 19, № 3. С. 55–67. DOI: 10.21209/2658-7114-2024-19-3-55-67.

Статья поступила в редакцию 16.04.2024; одобрена после рецензирования 28.05.2024; принята к публикации 29.05.2024.

References

1. Popov, S. E. Methodical system of teacher training in the field of computational physics: monograph. Nizhny Tagil: NTSPA, 2005. (In Rus.)

2. Teregulov, D. F. Preparation of future teachers for the use of natural computing experiment in teaching physics. Cand. sci. diss. Yekaterinburg, 2017. (In Rus.)
3. Lyaptvsev, A. V., Tiukanov, A. S. The combination of real and virtual experiments in teaching physics at a pedagogical university. Education Informatization and E-Learning Methodology: Digital Technologies in Education, Proceedings of the 4th International Scientific Conference. Krasnoyarsk: 2020: 226–230. (In Rus.)
4. Nikitin, A. V., Slobodianiuk, A. I., Shishakov, M. L. Computer modeling of physical processes. M: Binom, Laboratory of Knowledge, 2011. (In Rus.)
5. Babina, O. I. Comparative analysis of simulation and analytical models. Simulation Modeling. Theory and Practice, Proceedings of the 4th All-Russian Scientific and Practical Conference. St. Petersburg: 2009: 73–77. (In Rus.)
6. Maier, R. V. Computer Modeling: Modeling as a Method of Scientific Knowledge. Computer Models and their Types. Scientific Electronic Archive. Web. 17.02.2024. <http://econf.rae.ru/article/6722>. (In Rus.)
7. Samarsky, A. A., Popov, Yu. P. Computational experiment in physics. Science and Humanity. M: Znanie, 1975. (In Rus.)
8. Selected works of A. A. Samarsky; ed-n Gulin, A. V., Dmitrieva. V. I. M: MAX Press. Web. 12.04.2024. <http://samarskii.ru/artic-les/1979/1979-002ocr.pdf>. (In Rus.)
9. Birikh, R. V. On computer models in the school physics course. Bulletin of PGGPU. Series: ICT in Education, no. 2, pp. 27–33, 2006. (In Rus.)
10. Kondratev, A. S., Finagin, A. A. Computational Experiment within the school physics course. Computer tools in education, no. 1, pp. 25–30, 2004. (In Rus.)
11. Starodubtsev, V. A. The methodological role of computer practicums. Open and Distance Education, no. 2, pp. 34–40, 2003. (In Rus.)
12. Bayandin, D. V. Dynamic interactive models to support students' cognitive activities. Bulletin of the PGPU. Series: ICT in Education, no. 5, pp. 30–44, 2009. (In Rus.)
13. Antonova, D. A. Methodical system of productive teaching for future teachers in the development and application of computer simulations of educational physics experiments. Educational Experiment in Education, no. 4, pp. 43–57, 2023. (In Rus.)
14. Antonova, D. A., Ospennikova, E. V. Computer simulations of educational physics experiments: methodological and didactic aspects of application in teaching. Pedagogical Education in Russia, no. 6, pp. 13–23, 2021. (In Rus.)
15. Antonova, D. A., Ospennikova, E. V., Educational computer simulations of physics experiments. Modern Problems of Science and Education, no. 6, 2021. Web. 11.04.2024. <https://science-education.ru/article/view?id=31217>. (In Rus.)

Information about the authors

Ospennikova Elena V., Doctor of Pedagogy, Professor, Perm State National Research University; 15 Bukireva st., Perm, 614068, Russia; evos@bk.ru; <https://orcid.org/0009-0008-5580-3659>.

Antonova Darya A., Teacher, Perm State National Research University; 15 Bukireva st., Perm, 614068, Russia; d-antonova@bk.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1120-5944>.

Contribution of authors to the article

Ospennikova E. V. – a review of research on the issue of using computer modeling in teaching physics has been carried out; the goals and objectives of the research have been formulated; an approach to the development of the structure of computer modeling as a method of educational research in studying physical processes and systems has been defined; a system of its methodological functions has been constructed.

Antonova D. A. – the generalized structure of computer modeling as a method of cognition and the structure of computer experiments in their adaptation to the practical application in the high school physics course have been developed; the content of the methodological functions of computer modeling has been revealed; a characterization of the levels of complexity of students' work in conducting a computer experiment using a "ready-made" computer model has been given.

For citation

Ospennikova E. V., Antonova D. A. Computer modeling as a method of educational cognition and its application in studying subjects of the natural science cycle in high school // Scholarly Notes of Transbaikal State University. 2024. Vol. 19, No. 3. P. 55–67. DOI: 10.21209/2658-7114-2024-19-3-55-67.

**Received: April 16 2024; approved after reviewing May 28 2024;
accepted for publication May 29 2024.**