

УДК 378.147:371.124:53
ББК 4448.985

DOI 10.26170/по19-01-09
ГРНТИ 14.35.09

Код ВАК 13.00.02

Попов Семен Евгеньевич,

доктор педагогических наук, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры естественных наук и физико-математического образования, Нижнетагильский филиал Российского государственного профессионально-педагогического университета; 622031, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 57; e-mail: s-e-porov@yandex.ru

Терегулов Денис Федорович,

кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры информационных технологий, Нижнетагильский филиал Российского государственного профессионально-педагогического университета; 622031, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 57; e-mail: denaviat@yandex.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГОТОВНОСТИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ К ПРОВЕДЕНИЮ НАТУРНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: учебные физические эксперименты; натурные эксперименты; вычислительные эксперименты; дидактические принципы; подготовка будущих учителей; учителя физики.

АННОТАЦИЯ. В работе ставится и обсуждается проблема подготовки будущих учителей физики к постановке и проведению современного учебного физического эксперимента. Показано, что развитие инструментальной базы натурального эксперимента за счет компьютерных средств и внедрения информационных технологий, включение компьютерного моделирования (вычислительного эксперимента) в систему учебного физического эксперимента приводят к необходимости специального изучения дидактических аспектов комплексного использования натурального и вычислительного эксперимента. Дается определение натурно-вычислительного эксперимента как метода обучения физике, основанного на интеграции лабораторного эксперимента и компьютерного моделирования и позволяющего получать новые учебные результаты. Выявлены и обоснованы три основные формы сочетания натурального и вычислительного эксперимента: параллельное выполнение, последовательное выполнение и совмещенный (комплексный) натурно-вычислительный эксперимент. Утверждается, что различные аспекты подготовки будущих учителей физики к использованию как натурального, так и вычислительного эксперимента достаточно полно выражаются категорией «готовность». Обсуждаются компонентный состав готовности и уровни сформированности отдельных компонентов. Представлена структурно-функциональная модель процесса формирования готовности будущих учителей физики к использованию натурно-вычислительного эксперимента. Сформулированы принципы, которые регулируют как конструирование содержания обучения, так и организацию учебного процесса. Подчеркивается, что при отборе содержания обучения особую роль играет принцип обеспечения разнообразия сочетания натурального и вычислительного эксперимента. Он устанавливает необходимость включения в систему подготовки лабораторных работ, реализующих все базовые формы сочетания. Организацию лабораторного практикума следует осуществлять в соответствии с регулятивным принципом восхождения от натурального и вычислительного к интегрированному натурно-вычислительному эксперименту. Делается вывод о целесообразности и возможности разработки методики специальной подготовки будущих учителей физики к проведению натурно-вычислительных экспериментов.

Popov Semen Evgenievich,

Doctor of Pedagogy, Candidate of Engineering, Professor of Department of Sciences, Physical and Mathematical Education, Russian State Vocational Pedagogical University, Nizhny Tagil, Russia.

Teregulov Denis Fedorovich,

Candidate of Pedagogy, Senior Lecturer of Department of Information Technologies, Russian State Vocational Pedagogical University, Nizhny Tagil, Russia.

THEORETICAL ASPECTS OF TRAINING FUTURE TEACHERS OF PHYSICS TO CONDUCT NATURAL COMPUTATIONAL EXPERIMENTS

KEYWORDS: classroom physical experiments; natural experiments; computational experiments; didactic principles; training future teachers; physics teachers.

ABSTRACT. The article deals with the problem of training future physics teachers for the preparation and conduct of a modern educational experiment in physics. It shows that the development of the instrumental base of the natural experiment using computer tools and the introduction of information technologies, the inclusion of computer modeling (computational experiment) in the system of educational experiment in physics lead to the need for a special study of the didactic aspects of a comprehensive use of the natural and computational experiment. The authors define the natural computational experiment as a method of teaching physics based on the integration of laboratory experiment and computer simulation and allowing the teacher to obtain new educational results. Three basic forms of combination of a natural and computational experiment were identified and substantiated: parallel execution, sequential execution, and a combined (complex) natural computational experiment. It is argued that various aspects of training of future teachers of physics to use both natural and computational experiments are quite fully expressed by the category of "preparedness". The article discusses the composition of preparedness and the levels of formation of individual components. The authors present a structural-functional model of the process of formation of preparedness of future teachers of physics to use natural computational experiment and formulate the

principles that regulate both the design of the learning content and the organization of the education process. It is emphasized that the principle of providing a variety of combinations of natural and computational experiment plays a special role in the selection of the learning content. It establishes the need to include laboratory works that realize all the basic forms of combination in the system of training. The organization of the laboratory workshop should be carried out in accordance with the regulatory principle of ascent from the natural and computational to the integrated natural computational experiment. The article concludes that it is reasonable and possible to develop a method of special training of future teachers of physics to conduct natural computational experiments.

Непрерывное совершенствование учебного физического эксперимента (УФЭ) как на методическом, так и на технологическом уровнях предполагает внесение определенных изменений в экспериментальную подготовку будущего учителя физики. В таких условиях приоритетной задачей обучения в педагогическом вузе становится формирование готовности студента к проведению учебного физического эксперимента с учетом современных форм и перспективных направлений его развития.

В настоящее время учебный физический эксперимент представлен не только классическими натурными опытами, но и их компьютеризированными аналогами и вычислительными экспериментами. Анализ работ, посвященных поиску путей совершенствования учебного физического эксперимента на основе использования современных технических средств и соответствующих информационных технологий обучения, позволяет выделить три основных направления применения персональных компьютеров в учебном физическом эксперименте:

1) использование компьютера как части экспериментальной установки для сбора экспериментальных данных, изучения быстро протекающих процессов, фиксации трудноуловимых деталей явления, определения малых изменений в характеристиках физического объекта или процесса — автоматизация УФЭ;

2) применение компьютеров и других технических средств для математической обработки экспериментальных данных, вычисления погрешностей и представления результатов натурального эксперимента (НЭ);

3) использование технологии компьютерного моделирования физических явлений — вычислительный эксперимент (ВЭ).

Признание компьютерного моделирования как метода научного познания, повышение его роли в научных исследованиях не могло не сказаться на системе образования и учебном физическом эксперименте. Использование вычислительного эксперимента в значительной степени расширяет возможности экспериментального исследования физических явлений. При этом [2] у него есть и свои недостатки в сравнении с натурным экспериментом.

В попытках свести недостатки натурального и вычислительного эксперимента к минимуму и максимально эффективно использовать достоинства обоих видов физического эксперимента ряд авторов пришли к выводу о целесообразности совмещения натурального и вычислительного экспериментов [4; 7]. Так, О. Е. Данилов считает, что учебный вычислительный эксперимент не должен служить лишь заменой трудноосуществимому реальному физическому эксперименту. Он может использоваться с ним совместно, дополняя при этом натуральный эксперимент и облегчая задачу объяснения преподавателю с помощью современных вычислительных средств [3].

Е. И. Постникова отмечает, что на лекционных занятиях при демонстрации физических явлений и процессов целесообразно использовать сочетание натурной установки и компьютерной модели. Такое соединение «реального» и «виртуального» позволит студентам сравнить результаты различного вида демонстраций, лучше понять суть того или иного физического объекта, а значит, глубже осмыслить изучаемые процессы и явления [10]. Все это в конечном итоге должно повысить качество физического образования.

Авторы работы [6] приводят доводы в пользу взаимосвязанного сочетания виртуального, вычислительного и натурального эксперимента, но уже применительно к лабораторно-проектным работам практикума по физике. По их мнению, наилучший результат обучения достигается при одновременном параллельном использовании возможностей компьютерного лабораторного практикума и реальных лабораторных установок.

М. И. Старовиков указывает на важность «интеграции» натурального и вычислительного экспериментов. В соединении оба метода дают системный эффект повышения эффективности учебного исследования [11]. В качестве примера приводится описание организации и проведения натурно-вычислительного эксперимента, предусматривающего последовательное выполнение натурального и вычислительного экспериментов для двух работ: определения ускорения свободного падения и определения вязкости жидкости методом падающего шарика.

В последние годы наблюдается усиление интеграционных процессов в образовании. Интеграция как принцип осуществления образовательного процесса, основанный на взаимодополнении разных форм постижения действительности, в физике наиболее ярко проявляется в комплексном использовании натурального и вычислительного эксперимента. По мнению академика А. С. Кондратьева, «учитывая тенденции в развитии науки и образования, необходимо развивать методы обучения физике в рамках методологии компьютерного моделирования и натурно-вычислительного эксперимента» [5, с. 271].

Анализ научной и учебно-методической литературы по проблеме развития современного учебного физического эксперимента показывает возрастание интереса к сочетанию возможностей натурального и вычислительного экспериментов и убедительно демонстрирует востребованность в системе образования учителей физики, обладающих навыками организации и проведения таких экспериментов.

Представленные материалы позволяют заключить, что развитие инструментальной и технологической базы натурального эксперимента, включение компьютерного моделирования в систему учебного физического эксперимента приводят к необходимости специального изучения дидактических аспектов комплексного использования натурального и вычислительного эксперимента. Физический эксперимент, построенный на основе сочетания натурального и вычислительного экспериментов, обладает огромным потенциалом формирования готовности будущего учителя, связанной со свободным владением современной компьютерной техникой, технологией компьютерного моделирования и возможностью свободного перехода от одного вида физического эксперимента к другому. Подготовка учителей к использованию различных форм натурального и вычислительного экспериментов является актуальной задачей.

Вместе с тем имеется множество нерешенных проблем, связанных прежде всего с выявлением форм интеграции натурального и вычислительного эксперимента, с недостаточной разработанностью содержания обучения и методических решений, использование которых обеспечит успешную реализацию натурно-вычислительных экспериментов при обучении физике [15].

В проведенном исследовании принято следующее определение: **натурно-вычислительный эксперимент — это метод обучения физике, основанный на интеграции лабораторного эксперимента и компьютерного моделирования и**

позволяющий получать новые учебные результаты.

Учебно-экспериментальная работа на физико-математическом факультете позволила выявить три варианта организации процесса обучения физике на основе сочетания натурального и вычислительного эксперимента [14].

Параллельное выполнение натурального и вычислительного эксперимента.

Отличительной особенностью такой работы является возможность сравнения результатов натурального и вычислительного эксперимента. После этого могут быть сделаны выводы о достоверности итогов вычислительного эксперимента в случае совпадения результатов или о необходимости вернуться к этапу планирования эксперимента с целью выявления и устранения допущенных ошибок.

Во многих работах отмечается, что в случае технической и организационной возможности проведения обоих видов эксперимента предпочтение должно отдаваться натурному. И только если он неосуществим, то можно прибегнуть к компьютерному эксперименту. В то же время наивысшим показателем достоверности результатов вычислительного эксперимента является его сравнение с итогами аналогичного натурального эксперимента [8]. Поэтому любой курс, включающий в себя совокупность из нескольких вычислительных экспериментов, целесообразно начинать с работы по схеме параллельного натурно-вычислительного эксперимента.

Такая работа отлично дополнит теоретическую часть курса, послужит наглядной демонстрацией к сравнению технологии натурального и вычислительного эксперимента. В учебном процессе обращение к параллельному выполнению натурального и вычислительного экспериментов целесообразно на этапе знакомства обучаемых с технологией компьютерного моделирования.

Последовательное выполнение натурального и вычислительного эксперимента.

На практике подобная форма учебного физического исследования реализуется в виде двух последовательно (поочередно) выполняемых экспериментов. При этом роль второго может сводиться как к расширению границ применимости первого, так и к углублению содержательной стороны исследования.

Возможны две вариации предложенной формы:

- 1) проведение вычислительного эксперимента по результатам натурального;
- 2) постановка натурального эксперимента по завершении вычислительного.

В первом случае вычислительный эксперимент является вторичным и подбира-

ется к уже проводимому в вузе классическому натурному эксперименту, дополняя его. Во втором по результатам вычислительного формируются основания для организации натурного эксперимента.

Совмещенный (комплексный) натурно-вычислительный эксперимент.

В некоторых случаях реализации натурного эксперимента препятствует возникновение на определенном этапе работы «неопределяемого» параметра. При этом уже полученных результатов может быть достаточно для организации вычислительного эксперимента с целью нахождения нужного параметра, после чего появляется возможность продолжения натурного опыта. Именно такое последовательное чередование натурного и вычислительного эксперимента происходит в научном физическом познании.

Учебные эксперименты, организованные по этой схеме, имеют в методологическом плане максимальное соответствие структуре современных научных экспериментов. Их включение в содержание обучения будущих учителей физики оправданно и целесообразно. Однако поиск и организация опытов подобного рода — сложная задача, поэтому их включение в содержание обучения носит ограниченный характер.

Различные аспекты подготовки будущих учителей физики к использованию как натурного, так и вычислительного эксперимента достаточно полно выражаются категорией «готовность». В структуру готовности включают четыре компонента: мотивационный, когнитивный, операционно-деятельностный и рефлексивный. Мотивационный компонент представляется целостной системой мотивов личности, составляющей основу для эффективного освоения современных форм УФЭ. Когнитивный компонент отражает разностороннюю теоретическую подготовленность студентов к выполнению учебного физического эксперимента. Операционно-деятельностный компонент — основной компонент готовности, проявляющийся в практической подготовленности к проведению физических экспериментов. Рефлексивный компонент определяет возможность объективно оценивать свой профессиональный уровень и проектировать условия его повышения.

Тем самым структура готовности будущего учителя физики к использованию современных технических средств и соответствующих информационных технологий в физическом эксперименте во многом аналогична структуре информационной и учебно-исследовательской компетентности учителя физики [12].

Диагностика сформированности представленных компонентов предполагает раз-

деление готовности по степени сформированности на несколько уровней. Опираясь на таксономию усвоения учебной деятельности В. П. Беспалько [1], мы выделяем четыре уровня сформированности готовности к проведению натурно-вычислительного эксперимента: начальный, базовый, практический и профессиональный.

На начальном уровне происходит первичное накопление информации, способ деятельности исключительно репродуктивный. Данный уровень характерен для учащихся первого года обучения в педагогическом вузе.

Базовый уровень — уровень «репродукции», когда учащийся самостоятельно, без помощи извне воспроизводит и применяет информацию об объекте изучения, его свойствах, особенностях в ранее рассмотренных стандартных ситуациях, при этом его деятельность носит репродуктивный характер. Начиная с этого уровня и выше происходит осмысленное усвоение базовых способов деятельности, необходимых для работы учителю физики в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Для практического уровня характерно наличие у студентов умений применять усвоенную информацию в ходе своей практической деятельности и при решении нетиповых задач с получением субъективно новой информации. Продуктивная деятельность этого уровня достигается в рамках выполнения учебно-исследовательских заданий, построенных на основе сочетания натурного и вычислительного экспериментов.

Четвертый, высший уровень проявляется в возможности осуществления исследовательской и изобретательской деятельности учителя физики. Достижение профессионального уровня не является обязательным условием для успешной профессионально-педагогической деятельности, однако способствует повышению ее результативности.

Каждому из перечисленных выше уровней соответствует определенный набор содержательных компонентов готовности будущего учителя физики. Полный спектр содержательных и структурных компонентов в сочетании с иерархией уровней сформированности образуют модель готовности будущего учителя физики к проведению УФЭ с учетом современных методов, форм и технологий. Эта модель приводится, обосновывается и анализируется в нашей работе [12].

Процесс формирования готовности будущих учителей физики к использованию натурно-вычислительного эксперимента (НВЭ) можно представить в виде структурно-функциональной модели, состоящей из

четырёх блоков [13]. Целевой блок отражает социальный заказ и требования ФГОС, определяет направленность методики обучения на достижение требуемого результата — формирование готовности будущих учителей физики к проведению натурно-вычислительного эксперимента. Теоретический блок отражает специфику, структуру и уровни сформированности готовности учителя физики, включает обоснование натурно-вычислительного эксперимента как средства формирования этой готовности, определяет основные принципы конструирования содержания обучения и организации учебного процесса. Процессуальный блок содержит описание основных средств формирования готовности — комплекс лабораторных работ и учебно-исследовательских проектов, раскрывает процесс использования данного комплекса для результативной подготовки студентов к постановке и проведению натурно-вычислительных экспериментов. Результативный блок содержит инструментарий (критерии, показатели, уровни и методы) по оцениванию готовности студентов к постановке и проведению НВЭ.

В результате анализа и обобщения дидактических принципов построения содержания образования, специфики подготовки будущих учителей физики к постановке и проведению НВЭ были сформулированы частнометодические принципы, которые регулируют как конструирование содержания обучения, так и организацию учебного процесса.

1. Принцип **генерализации** является конкретным воплощением комплекса дидактических принципов и предполагает выделение одной или нескольких центральных идей, вокруг которых выстраивается учебный материал. В нашем случае такими являются содержание физических теорий и возможность использования сочетания натурного и вычислительного эксперимента. На основе реализации различных форм сочетания натурного и вычислительного эксперимента передаются имеющиеся в физике теоретические знания, прививаются практические умения и навыки, демонстрируются самые существенные признаки и свойства изучаемых процессов в доступной для студентов форме.

2. Принцип **дополнительности** регулирует отбор содержания и формирование структуры курса как отдельной, дополнительной, не сводимой к другим дисциплины. Применение информационных технологий (универсальных математических пакетов, численных методов, компьютерного моделирования) позволяет повысить уровень изучения физики. Принцип допол-

нительности предполагает отбор ранее недоступного материала, например, исследование нелинейных волновых процессов и освоение нового метода познания — натурно-вычислительного эксперимента, например, при изучении явления теплопроводности металлов в нестационарном режиме.

3. Принцип **этапности** обусловлен наличием в технологии современного комбинированного физического эксперимента вычислительной составляющей. Необходимость построения иерархии компьютерных моделей различных физических явлений требует разработки или принятия некоторой совокупности правил и подходов, называемых поэтапной технологией исследования физических объектов в вычислительном эксперименте [9]. Принцип этапности определяет необходимость включения теории математического компьютерного моделирования в содержание обучения будущих учителей физики.

4. Принцип **обеспечения разнообразия сочетания натурного и вычислительного эксперимента** подразумевает включение в подготовку будущего учителя физики лабораторных работ, реализующих все базовые формы сочетания: параллельная (НЭ || ВЭ), последовательная (НЭ→ВЭ или ВЭ→НЭ) и комплексная (интегрированный НВЭ). Благодаря внедрению персонального компьютера в учебный процесс и лабораторный физический практикум стало возможным по-новому организовывать учебный физический эксперимент и тем самым обеспечить повышение научного уровня и методологизацию обучения физике.

5. Принцип **восхождения от натурального и вычислительного к интегрированному натурно-вычислительному эксперименту** определяет последовательность проведения занятий в соответствии с выявленными формами интеграции экспериментов. На практике реализация данного принципа может быть осуществлена такой последовательностью выполнения лабораторных работ:

1. (НЭ || ВЭ).
2. (ВЭ→НЭ), (НЭ→ВЭ), (НЭ→ВЭ1→ВЭ2).
3. НВЭ.

Каждый принцип дополняется совокупностью критериев, конкретизирующих особенности его применения.

Таким образом, результаты данной части исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Развитие инструментальной и технологической базы натурального эксперимента, включение вычислительного эксперимента в систему современного учебного физического эксперимента привели к формированию натурно-вычислительного экспе-

римента как комплексного метода обучения физике. Современный учитель физики должен быть готов к проведению натурно-вычислительного эксперимента, поэтому натурно-вычислительный эксперимент необходимо включать в содержание подготовки будущего учителя физики.

2. Отбор содержания обучения нужно проводить на основе принципа обеспечения разнообразия сочетания натурального и вычислительного эксперимента. Деятельность студентов должна быть направлена на освоение основных форм сочетания натурального и вычислительного эксперимента (параллельное, последовательное, комплексное). Параллельное выполнение обеспечивает

возможность сравнения результатов натурального и вычислительного эксперимента, служит основой для дальнейшего изучения их интеграционных форм; последовательное позволяет получать более точные результаты эксперимента, расширить и углубить уровень знаний по физике; комплексное формирует представления о технологии постановки и проведения современных научных и учебных экспериментов.

3. Организацию лабораторного практикума следует осуществлять в соответствии с регулятивным принципом восхождения от натурального и вычислительного к интегрированному натурно-вычислительному эксперименту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспалько В. П. Программированное обучение (дидактические основы). — М.: Высшая школа, 1970. — 300 с.
2. Воронин Ю. А., Чуудиновский Р. М. Соотношение натурального и модельного экспериментов в физическом практикуме // Физическое образование в вузах. — 2003. — № 2. — Т. 9. — С. 59—75.
3. Данилов О. Е. Сочетание натурального и вычислительного экспериментов в обучении физике // Молодой ученый. — 2014. — № 19. — С. 10—11.
4. Заковряшина О. В. Дидактические условия интеграции виртуального и натурального физического эксперимента // Физика в школе. — 2012. — № 7. — С. 23—29.
5. Кондратьев А. С., Лаптев В. В., Ходанович А. И. Информационная методическая система обучения физике в школе: моногр. — СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2003. — 408 с.
6. Ларионов В. В., Писаренко С. Б., Лидер А. М. Лабораторно-проектные работы в системе физического практикума технических университетов // Физическое образование в вузах. — 2007. — Т. 13. — № 2. — С. 69—78.
7. Леонтьева Н. В. Применение ИКТ в натурном эксперименте лабораторного практикума по физике // Молодой ученый. — 2013. — № 6. — С. 700—703.
8. Попов С. Е. Компьютерные инструменты в формировании представлений о вероятностном описании поведения физических объектов // Педагогическое образование в России. — 2016. — № 9. — С. 51—56.
9. Попов С. Е. Методическая система подготовки учителя в области вычислительной физики: моногр. — Нижний Тагил: НТГСПА, 2005. — 227 с.
10. Постникова Е. И. Демонстрационный физический эксперимент с применением цифровых технологий как средство повышения эффективности обучения физике студентов технического университета: автореф. дис. ... канд. пед. наук. — Томск, 2009. — 23 с.
11. Старовиков М. И., Старовикова И. В. Натурно-вычислительный эксперимент в лабораторном практикуме по физике // Открытое и дистанционное образование. — 2015. — № 1. — С. 70—77.
12. Терегулов Д. Ф. Модель информационной компетентности учителя физики // Фундаментальные исследования. — 2014. — № 12—10. — С. 2235—2239.
13. Терегулов Д. Ф. Подготовка будущих учителей к использованию натурно-вычислительного эксперимента при обучении физике: автореф. дис. ... канд. пед. наук. — Екатеринбург, 2017. — 24 с.
14. Терегулов Д. Ф., Попов С. Е. Методика проведения занятий на основе сочетания натурального и вычислительного эксперимента // Современная высшая школа: инновационный аспект. — 2015. — № 4. — С. 114—122.
15. Терегулов Д. Ф., Попов С. Е. Сочетание натурального и вычислительного эксперимента в лабораторном физическом практикуме [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1. — Режим доступа: www.science-education.ru.

REFERENCES

1. Bepal'ko V. P. Programmirovannoe obuchenie (didakticheskie osnovy). — M.: Vysshaya shkola, 1970. — 300 s.
2. Voronin Yu. A., Chudinovskiy R. M. Sootnoshenie naturnogo i model'nogo eksperimentov v fizicheskom praktikume // Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh. — 2003. — № 2. — Т. 9. — С. 59—75.
3. Danilov O. E. Sochetanie naturnogo i vychislitel'nogo eksperimentov v obuchenii fizike // Molodoy uchenyy. — 2014. — № 19. — С. 10—11.
4. Zakovryashina O. V. Didakticheskie usloviya integratsii virtual'nogo i naturnogo fizicheskogo eksperimenta // Fizika v shkole. — 2012. — № 7. — С. 23—29.
5. Kondrat'ev A. S., Laptev V. V., Khodanovich A. I. Informatsionnaya metodicheskaya sistema obucheniya fizike v shkole: monogr. — SPb.: Izd-vo RGPU im. A. I. Gertsena, 2003. — 408 s.
6. Larionov V. V., Pisarenko S. B., Lider A. M. Laboratorno-proektnye raboty v sisteme fizicheskogo praktikuma tekhnicheskikh universitetov // Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh. — 2007. — Т. 13. — № 2. — С. 69—78.
7. Leont'eva N. V. Primenenie IKT v naturnom eksperimente laboratornogo praktikuma po fizike // Molodoy uchenyy. — 2013. — № 6. — С. 700—703.

8. Popov S. E. Komp'yuternye instrumenty v formirovanii predstavleniy o veroyatnostnom opisaniy povedeniya fizicheskikh ob"ektov // Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii. — 2016. — № 9. — S. 51–56.
9. Popov S. E. Metodicheskaya sistema podgotovki uchitelya v oblasti vychislitel'noy fiziki : monogr. — Nizhniy Tagil : NTGSPA, 2005. — 227 s.
10. Postnikova E. I. Demonstratsionnyy fizicheskiy eksperiment s primeneniem tsifrovyykh tekhnologiy kak sredstvo povysheniya effektivnosti obucheniya fizike studentov tekhnicheskogo universiteta : avtoref. dis. ... kand. ped. nauk. — Tomsk, 2009. — 23 s.
11. Starovikov M. I., Starovikova I. V. Naturno-vychislitel'nyy eksperiment v laboratornom praktikume po fizike // Otkrytoe i distantsionnoe obrazovanie. — 2015. — № 1. — S. 70–77.
12. Teregulov D. F. Model' informatsionnoy kompetentnosti uchitelya fiziki // Fundamental'nye issledovaniya. — 2014. — № 12–10. — S. 2235–2239.
13. Teregulov D. F. Podgotovka budushchikh uchiteley k ispol'zovaniyu naturno-vychislitel'nogo eksperimenta pri obuchenii fizike : avtoref. dis. ... kand. ped. nauk. — Ekaterinburg, 2017. — 24 s.
14. Teregulov D. F., Popov S. E. Metodika provedeniya zanyatiy na osnove sochetaniya naturnogo i vychislitel'nogo eksperimenta // Sovremennaya vysshaya shkola: innovatsionnyy aspekt. — 2015. — № 4. — S. 114–122.
15. Teregulov D. F., Popov S. E. Sochetanie naturnogo i vychislitel'nogo eksperimenta v laboratornom fizicheskom praktikume [Elektronnyy resurs] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. — 2015. — № 1. — Rezhim dostupa: www.science-education.ru.