

УДК 378.147:371.124:53
ББК448.985

DOI 10.26170/по19-07-14
ГРНТИ 14.35.09

КодВАК 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, 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, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 57; e-mail: denaviat@yandex.ru

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ГОТОВНОСТИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ К ПРОВЕДЕНИЮ НАТУРНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: учебные физические эксперименты; натурные эксперименты; вычислительные эксперименты; учебно-исследовательские проекты; метод проектов; проектная деятельность; учителя физики; подготовка будущих учителей; студенты-педагоги.

АННОТАЦИЯ. В работе обсуждается проблема подготовки будущих учителей физики к постановке и проведению современного учебного физического эксперимента. Утверждается, что главным условием успешного формирования соответствующей готовности является направленность учебного процесса на развитие всех ее структурных компонентов. Для решения этой проблемы по результатам проведенного исследования предлагается соответствующая методика обучения, которая в образовательном процессе реализуется в виде отдельного курса «Натурно-вычислительный эксперимент». Содержание курса представлено двумя блоками: теоретическим и практическим. Теоретический блок включает изучение и обсуждение вопросов, необходимых для проведения лабораторно-практических занятий. Приводятся названия и содержание тем теоретического блока. Практическая часть преследует цель — дать студентам практические навыки проведения натурно-вычислительного эксперимента, а также получить опыт работы с различными программными средствами для компьютерного моделирования физических процессов и явлений. Предлагается освоение практической части проводить в пять этапов, каждый из которых имеет свою цель и решает определенные задачи. На первом этапе занятия организуются по схеме параллельного выполнения натурного и вычислительного экспериментов. На втором — по схеме последовательного выполнения. Третий этап призван сформировать элементы готовности к проведению комплексного (совмещенного) натурно-вычислительного эксперимента. Цель четвертого этапа — совершенствование навыков использования вычислительного эксперимента для изучения сложных физических объектов. Пятый этап призван обобщить результаты и выработать методические рекомендации по их использованию в будущей профессиональной деятельности учителя физики. Для каждого этапа практической части представлены комплексы лабораторных работ и учебно-исследовательских проектов. Формулируются цель и задачи дисциплины «Натурно-вычислительный эксперимент». Обсуждается диагностический аппарат оценки степени подготовленности студентов к использованию натурно-вычислительных экспериментов.

Popov Semen Evgenievich,

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

Teregulov Denis Fedorovich,

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

THE TECHNIQUE OF FORMATION OF READINESS OF FUTURE TEACHERS OF PHYSICS TO CONDUCT FULL-SCALE AND COMPUTING EXPERIMENTS

KEYWORDS: educational physical experiments; full-scale experiments; computational experiments; educational research projects; project method; project activities; physics teachers; training for future teachers; teacher students.

ABSTRACT. The paper discusses the problem of training future teachers of physics to the formulation and conduct of modern educational physical experiment. It is argued that the main condition for the formation of appropriate readiness is the orientation of the educational process on the development of all its structural components. To resolve this problem, re-results of the conducted research provides the relevant teaching methods, which in educational process is realized as a separate course in “Natural and computing experiment”. The content of the course is presented in two blocks: theoretical and practical. The theoretical block includes the study and discussion of issues necessary for conducting laboratory and practical training. The names and content of the topics of the theoretical block are given. The practical part aims – to give students practical skills of natural-computational experiment, as well as to gain experience with various software tools for computer modeling of physical processes and phenomena. It is proposed to carry out the development of the practical part in five stages, each of which has its own purpose and reheat certain tasks. At the first stage, classes are organized according to the scheme of parallel execution of full-scale and computational experiments. On the second scheme of sequential execution. The third stage is designed to form

the elements of readiness to conduct a complex (combined) full-scale computational experiment. The purpose of the fourth stage is to improve the skills of using computational experiment to study complex physical objects. The fifth stage is designed to summarize the results and develop methodological recommendations for their use in the future professional activity of a physics teacher. For each stage of the practical part presented complexes of laboratory work and study-but-research projects. The purpose and objectives of the discipline "full-scale computational experiment" are formulated. The diagnostic apparatus for assessing the degree of students' readiness to use full-scale computational experiments is discussed.

В нашей предыдущей работе [10] обсуждались теоретические вопросы, относящиеся к проблеме подготовки будущих учителей физики в области современного учебного физического эксперимента (УФЭ). Было установлено, что главным условием успешного формирования готовности является направленность учебного процесса на развитие всех ее структурных компонентов [12; 13]:

- поддержка и усиление мотивации студентов (учет интересов, склонностей, индивидуального стиля учебной деятельности, стремления самореализации личности);

- получение студентами знаний в области современного УФЭ (раскрытие тенденций в развитии инструментальной и технологической базы натурального учебного физического эксперимента, знакомство с технологией поэтапного проведения вычислительного эксперимента);

- приобретение студентами опыта выполнения учебных лабораторных исследований, основанных на использовании различных схем сочетания натурального и вычислительного эксперимента [14];

- осуществление студентами самооценки своей подготовленности в области проведения натурно-вычислительного эксперимента (НВЭ), управление процессом выполнения НВЭ от постановки цели до анализа полученных результатов.

В то же время необходимо отметить, что существующие программы подготовки учителей физики предусматривают формирование большинства компонентов информационной компетентности на первых курсах обучения в вузе. Студенты получают начальные знания по способам математической обработки информации, численным методам решения дифференциальных уравнений и систем уравнений. Недостаток опыта самостоятельного практического использования данных знаний в предметной области (физике) решается путем включения в учебные планы курсов по основам вычислительной физики или компьютерному математическому моделированию.

При этом выполнение натурных экспериментов в физических лабораториях и проведение вычислительных экспериментов в компьютерных классах разнесены по времени. У студентов отсутствует возможность сравнения как самих технологий изу-

чения физических объектов при помощи компьютерного и реального лабораторного эксперимента, так и результатов этих работ.

Основная задача обучения основам вычислительной физики (компьютерному моделированию) заключается в изучении системы иерархий моделей объектов, взаимодействий, явлений и процессов (именно моделей!) [9]. В то время как в лабораторном практикуме студенты имеют дело с реальными объектами и явлениями, тем самым отсутствует должная связь между натурным экспериментом и компьютерным моделированием. Отсутствует сама возможность сравнения модели с настоящим явлением.

Такое «раздельное» обучение отрицательно сказывается на эффективности профессиональной подготовки будущих учителей физики и, в частности, на формировании готовности к использованию современных форм учебного физического эксперимента.

В нашем исследовании на основании выявленной модели структуры готовности к использованию современных технических средств и разработанной структурно-функциональной модели процесса формирования готовности к использованию натурно-вычислительного эксперимента предложена методика формирования готовности будущих учителей физики к проведению натурно-вычислительных экспериментов [13].

С учетом необходимости отражения содержания всех структурных компонентов готовности, процесс формирования у студентов психологической готовности к проведению современного УФЭ должен состоять из двух блоков: теоретического и практического [5].

Теоретическая часть, на наш взгляд, должна включать изучение и обсуждение следующих вопросов (тем):

1. Методологическая триада современной физики (теоретическая, экспериментальная, вычислительная). Предмет и метод вычислительной физики.

Исследователь должен уметь провести сравнительный анализ достоинств и недостатков имеющихся в его распоряжении методов и средств. Появление вычислительной физики в середине XX в., обусловленное широким внедрением электронно-вычислительной техники в процесс научного исследования, значительно обогатило

арсенал доступных средств исследования. При изучении материалов темы особое внимание следует уделить рассмотрению сравнительных характеристик трех фундаментальных методов проведения физических исследований.

Чтобы помочь студентам разобраться с предметом вычислительной физики, необходимо дополнить содержание темы историческими сведениями, связанными с формированием вычислительной физики как науки [9].

2. Основы моделирования реальных систем и процессов (моделирование как метод познания, понятие модели, требования к моделям, функции моделей).

В данном разделе раскрывается роль моделирования как одного из основных инструментов познания человеком явлений окружающего мира, рассматриваются взаимосвязанные понятия модели и моделирования. Обсуждаются основные требования к моделям реальных систем и процессов [15].

3. Виды моделей. Математические модели, их классификация.

Рассматриваются классификации моделей. Особое внимание уделяется формальным, математическим моделям, так как именно они являются ядром метода компьютерного моделирования. Обсуждается классификация математических моделей [15].

4. Технология компьютерного моделирования (вычислительного эксперимента). Программные средства для решения вычислительных задач.

Значительная часть курса отводится на выполнение лабораторно-практических работ по исследованию физических объектов и явлений в натурном и вычислительном экспериментах, что потребует от студентов построения большого числа компьютерных моделей. В этой связи возникает необходимость принятия определенной совокупности правил и приемов компьютерного моделирования для снижения временных затрат и уменьшения вероятности получения ошибок. Обучаемые должны усвоить технологию исследования физического процесса или явления на компьютере.

Для проведения работ по компьютерному математическому моделированию может быть использовано различное программное обеспечение. В этой части курса обсуждаются достоинства и недостатки использования различного программного обеспечения для решения конкретных физических задач.

5. Натурно-вычислительный эксперимент. Оптимальные формы сочетания натурного и вычислительного эксперимен-

та.

При изучении данной темы студенты знакомятся с возможностью организации учебной исследовательской работы в лаборатории на основе сочетания натурального и вычислительного эксперимента. Подробно разбираются особенности проведения трех основных вариантов натурно-вычислительного эксперимента [10; 14].

Теоретическая часть реализуется через целенаправленную работу преподавателя на лекционных занятиях. Изложение теоретического материала преследует цель — обеспечить студентов знаниями по изучаемым темам в наиболее общем, системном виде. Необходимо зафиксировать основные положения теории, обратить повышенное внимание на сложные вопросы, поставить студентам задачи по самостоятельному изучению материала.

Практическая часть формирования готовности будущих учителей физики в области использования современного УФЭ преследует цель — дать студентам практические навыки проведения натурно-вычислительного эксперимента, а также получить опыт работы с различными программными средствами для компьютерного моделирования физических процессов и явлений. На лабораторно-практических занятиях следует организовать самостоятельную индивидуальную и групповую (подгрупповую) деятельность учащихся по решению физических задач с помощью натурального и вычислительного эксперимента, а также их разнопланового сочетания.

Результативность подготовки студентов-физиков педагогического вуза к проведению натурно-вычислительного эксперимента во многом определяется выполнением частнометодических принципов и, в особенности, принципа восхождения от натурального и вычислительного к интегрированному натурно-вычислительному эксперименту. Данный принцип определяет последовательность проведения занятий в соответствии с выявленными формами интеграции экспериментов [13].

Мы предлагаем организовать занятия в пять этапов, каждый из которых имеет свою цель и решает определенные задачи. Первые три этапа являются основными, направленными на обучение студентов трем базовым формам сочетания натурального и вычислительного эксперимента. Четвертый этап нацелен на повышение уровня владения студентами методом компьютерного моделирования, являющегося частью комплексного НВЭ. На заключительном этапе осуществляется методический анализ особенностей использования различных форм натурно-вычислительного эксперимента.

Для проведения практической части были разработаны:

— комплекс лабораторных работ, охватывающий основные разделы курса общей физики и предназначенный для подготовки студентов к освоению различных форм сочетания натурального и вычислительного экспериментов;

— комплекс учебно-исследовательских проектов, использование которого направлено на овладение будущими учителями физики методом вычислительного эксперимента;

— методические рекомендации по выполнению лабораторных работ и реализации учебно-исследовательских проектов.

На **первом этапе** занятия были организованы по схеме параллельного выполнения натурального и вычислительного экспериментов. Студенты выполняли две лабораторные работы «Движение тел в вязкой среде» и «Ход лучей в линзах». Отличительной особенностью этого варианта учебной деятельности является возможность сравнения результатов натурального и вычислительного эксперимента. После чего могут быть сделаны выводы: о достоверности итогов в случае совпадения результатов или о необходимости вернуться к этапу планирования с целью выявления и устранения допущенных ошибок. Обращение к параллельному выполнению натурального и вычислительного экспериментов целесообразно на этапе знакомства обучаемых с технологией компьютерного моделирования.

На **втором этапе** занятия организовывались по схеме последовательного выполнения натурального и вычислительного экспериментов. Для этого этапа были разработаны три лабораторные работы: «Изучение распределения Максвелла», «Электростатическое поле системы неподвижных зарядов» и «Исследование свойств дифракционной решетки». Подобная форма лабораторной работы реализуется из двух последовательно 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 схемы. На практике обычно реализуется первая — проведение вычислительного эксперимента по результатам натурального. Компьютерный эксперимент подбирается к уже проводимому классическому эксперименту, дополняя его.

Третий этап призван сформировать элементы готовности к проведению комплексного (совмещенного) натурно-вычислительного эксперимента. Потребность в нем возникает в тех случаях, когда реализации натурального эксперимента пре-

пятствует 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 натурального опыта. Учебные работы, организованные таким образом, имеют в методологическом плане максимальное соответствие структуре проведения современных научных исследований.

Для формирования соответствующих навыков была создана лабораторная работа «Исследование теплопроводности металлов в нестационарном режиме» [14].

Цель **четвертого этапа** — совершенствование навыков использования вычислительного эксперимента для изучения сложных физических объектов, что, в свою очередь, является необходимым условием подготовки студентов в области современного натурно-вычислительного эксперимента. Лабораторные работы данного этапа охватывают такие разделы курса физики, как механика («Исследование волновых процессов»), электричество и магнетизм («Движение заряженных частиц в магнитном поле»), квантовая физика («Моделирование орбиталей электрона в атоме водорода») и предполагают проведение только вычислительного эксперимента [8].

Обращение на данном этапе к методу исследовательских проектов должно повысить познавательные возможности обучаемых, научить их самостоятельно мыслить, находить и решать проблемы, привлекая интегрированные знания из информатики и математики, развить умения прогнозировать результаты и возможные последствия разных способов решения [4; 6].

Пятый этап — обобщение результатов работы. К концу семестра, когда выполнены все запланированные лабораторные работы, разобраны и опробованы на практике различные способы организации комбинированного физического эксперимента, следует провести занятия для системного анализа и закрепления пройденного материала. Для этого в условиях подгрупповой работы студентам предлагается подготовить методические рекомендации по использованию в профессиональной деятельности учителя физики четырех изученных форм организации учебного физического эксперимента.

В образовательный процесс подготовки учителя физики предлагаемая методика встраивается в виде отдельного курса «Натурно-вычислительный эксперимент». Представленные выше материалы определяют его содержание и служат для организации как теоретических, так и практиче-

ских занятий. На наш взгляд, курс следует проводить в седьмом семестре.

При разработке программы курса учитывались требования ФГОС ВО, современные тенденции использования новых информационных технологий в обучении физике, состояние рынка прикладного программного обеспечения и типовая оснащенность учебным оборудованием физических лабораторий педагогических вузов.

Цель курса — выработать у студентов представления об эффективном сочетании натурального и вычислительного эксперимента при изучении физических явлений.

Задачи курса:

— ознакомить студентов с методологией и технологией компьютерного моделирования в процессе изучения физических объектов и процессов;

— расширить представления о возможностях применения новых информационных технологий при организации и проведении физических экспериментов;

— позволить студентам на собственном опыте опробовать различные варианты сочетания натурального и вычислительного экспериментов;

— выработать творческие навыки и пробудить интерес к самостоятельной исследовательской деятельности;

— способствовать лучшему пониманию освоенного ранее физического материала, анализируя результаты комбинированных физических экспериментов;

— внести вклад в формирование профессиональной компетентности учителя физики.

Отметим, что ни один другой курс не решает подобные задачи в совокупности. При этом, как подчеркивали многие исследователи [2; 3; 7; 11], информатизация и компьютеризация являются одними из основных направлений развития методики обучения физике.

Дисциплины математического и естественнонаучного цикла, изученные в предшествующий период обучения в вузе, служат основой для данного курса. В сочетании с ними курс «Натурно-вычислительный эксперимент» практически завершает формирование профессиональных знаний и умений будущего учителя физики.

Разработка диагностических процедур по определению степени подготовленности будущих учителей физики к использованию натурно-вычислительных экспериментов предполагает обоснование критериев и показателей сформированности. С учетом структуры готовности и особенно-

сти организации учебно-познавательной деятельности студентов-физиков в педагогическом вузе были определены критерии результативности методики подготовки будущих учителей физики к постановке и проведению натурно-вычислительных экспериментов.

Мотивационный компонент оценивался критерием «Проявление интереса и повышение мотивации к использованию интегрированных форм натурального и вычислительного эксперимента». Когнитивный компонент через «Сформированность основных знаний, необходимых для постановки и проведения современного УФЭ». Операционно-деятельностный компонент оценивался критерием «Владение приемами организации и проведения различных форм НВЭ». Рефлексивный компонент по критерию «Способность к самоорганизации в использовании современных форм УФЭ».

Приведенные критерии измеряются количественными и качественными показателями, выявленными на основе анализа научно-педагогической литературы с учетом особенностей разработанной методики. Для их оценки подбирались, разрабатывались и использовались различные методики: анкетирование студентов на основе методики К. Замфир в модификации А. А. Реана [1], наблюдение за работой студентов, пооперационный анализ учебной деятельности и др. [13].

Таким образом, материалы данной части исследования позволяют утверждать:

1. Разработана методика подготовки будущего учителя физики к постановке и проведению натурно-вычислительного эксперимента. Ее основу составляет комплекс лабораторных работ и учебно-исследовательских проектов, выполнение которых организуется в соответствии с регулятивными принципами: «обеспечение разнообразия сочетания натурального и вычислительного эксперимента» и «восхождение от натурального и вычислительного к интегрированному натурно-вычислительному эксперименту».

2. Освоение материалов курса «Натурно-вычислительный эксперимент» позволит повысить предметный уровень обучения студентов благодаря комплексному изучению физических объектов и явлений; покажет будущим учителям новые возможности организации обучения за счет внедрения современных информационных технологий в лабораторный физический эксперимент; качественно изменит представления студентов о компьютерном моделировании через проведение аналогии между натурным и вычислительным экспериментом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бордовская Н. В., Реан А. А. Педагогика. — СПб. : Питер, 2006. — 304 с.
2. Данилов О. Е. Сочетание натурального и вычислительного экспериментов в обучении физике // Мо-

лодой ученый. — 2014. — № 19. — С. 10-11.

3. Заковряшина О. В. Дидактические условия интеграции виртуального и натурального физического эксперимента // Физика в школе. — 2012. — № 7. — С. 23-29.

4. Заяц М. Л., Попов С. Е., Терегулов Д. Ф. Специфика курсов компьютерного моделирования для студентов технических специальностей // Физическое образование в вузах. — 2011. — Т. 17. — № 1. — С. 84-91.

5. Калинина Т. В. Проблема формирования психологической готовности студентов к профессиональной деятельности в условиях вуза // Молодой ученый. — 2015. — № 11. — С. 1728-1730.

6. Кондратьев А. С., Лаптев В. В., Ходанович А. И. Информационная методическая система обучения физике в школе : монография. — СПб. : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2003. — 408 с.

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 : монография. — Нижний Тагил: НТГСПА, 2005. — 227 с.

10. Попов С. Е., Терегулов Д. Ф. Теоретические аспекты формирования готовности будущих учителей физики к проведению натурно-вычислительных экспериментов // Педагогическое образование в России. — 2019. — № 1. — С. 61-67.

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. Трусов П. В. Введение в математическое моделирование. — М. : Логос, 2005. — 440 с.

REFERENCES

1. Bordovskaya N. V., Rean A. A. Pedagogika. — SPb. : Piter, 2006. — 304 s.

2. Danilov O. E. Sochetanie natural'nogo i vychislitel'nogo eksperimentov v obuchenii fi-zike // Molodoy uchenyy. — 2014. — № 19. — S. 10-11.

3. Zakovryashina O. V. Didakticheskie us-loviya integratsii virtual'nogo i natural'nogo fizi-cheskogo eksperimenta // Fizika v shkole. — 2012. — № 7. — S. 23-29.

4. Zayats M. L., Popov S. E., Teregulov D. F. Spetsifika kursov komp'yuternogo modelirova-niya dlya studentov tekhnicheskikh spetsial'nostey // Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh. — 2011. — Т. 17. — № 1. — S. 84-91.

5. Kalinina T. V. Problema formirovaniya psikhologicheskoy gotovnosti studentov k pro-fessional'noy deyatel'nosti v usloviyakh vuza // Molodoy uchenyy. — 2015. — № 11. — S. 1728-1730.

6. Kondrat'ev A. S., Laptev V. V., Khodanovich A. I. Informatsionnaya metodicheskaya sistema obucheniya fizike v shkole : monografiya. — SPb. : Izd-vo RGPU im. A. I. Gertsena, 2003. — 408 s.

7. Leont'eva N. V. Primenenie IKT v natural'nom eksperimente laboratornogo praktikuma po fizike // Molodoy uchenyy. — 2013. — № 6. — S. 700-703.

8. Popov S. E. Komp'yuternye instrumenty v formirovanii predstavleniy o veroyatnost-nom opisaniy povedeniya fizicheskikh ob"ektov // Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii. — 2016. — № 9. — S. 51-56.

9. Popov S. E. Metodicheskaya sistema pod-gotovki uchitelya v oblasti vychisli-tel'noy fi-ziki : monografiya. — Nizh-niy Tagil: NTGSPA, 2005. — 227 s.

10. Popov S. E., Teregulov D. F. Teoreticheskie aspekty formirovaniya gotovnosti budushchikh uchiteley fizi-ki k provedeniyu natural'no-vychislitel'nykh eksperimentov // Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii. — 2019. — № 1. — S. 61-67.

11. Starovikov M. I., Starovikova I. V. Natural'no-vychislitel'nyy eksperiment v labora-tornom praktikume po fizike // Otkrytoe i distantsionnoe obrazovanie. — 2015. — № 1. — S. 70-77.

12. Teregulov D. F. Model' informatsi-onnoy kompetentnosti uchitelya fi-ziki // Funda-mental'nye issledo-va-niya. — 2014. — № 12-10. — S. 2235-2239.

13. Teregulov D. F. Podgotovka budushchikh uchiteley k ispol'zovaniyu natural'no-vy-chislitel'noy eksperi-menta pri obuchenii fizike : avtoref. dis. ... kand. ped. nauk. — Ekaterin-burg, 2017. — 24 s.

14. Teregulov D. F., Popov S. E. Metodika provedeniya zanyatiy na osno-ve sochetaniya natur-nogo i vychis-litel'noy eksperimenta // Sovremennaya vysshaya shkola: innovatsionnyy aspekt. — 2015. — № 4. — S. 114-122.

15. Trusov P. V. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie. — M. : Logos, 2005. — 440 s.